

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Percorso Innovazione



Trasparenza e tracciabilità nella filiera agroalimentare:
la rivoluzione digitale per garantire la qualità

Relatore:
Maurizio Galetto

Correlatore:
Elisa Verna

Candidato:
Federica Rizzo

Anno Accademico 2022-2023

*A nonno Gennaro e nonna Caterina
Mi avete insegnato ad avere fame di vita e di amore
Dedico i miei successi a voi!*

SOMMARIO

INTRODUZIONE	5
TRACCIABILITÀ NEL SETTORE AGROALIMENTARE.....	8
1.1 La tracciabilità – Definizione	8
1.2 Sistemi di tracciabilità attualmente in uso	9
1.3 Problematiche della filiera alimentare	15
1.4 La blockchain – Panoramica e definizione.....	17
1.4.1 Tipologie di blockchain	21
1.4.2 Smart Contract	23
1.5 Revisione della letteratura scientifica	25
1.6 Vantaggi e sfide nell’applicazione della blockchain	29
PROGETTAZIONE DEL SISTEMA DI TRACCIABILITÀ.....	33
2.1 Obiettivi	33
2.2 L’industria agroalimentare secondaria	34
2.3 Metodologia di progettazione di un sistema di tracciabilità	38
2.4 Concetto di Business Modeling.....	39
2.5 Modellazione proposta	40
2.5.1 Viste descrittive.....	42
2.5.2 Vista Funzioni	43
2.5.3 Vista Organizzazione	45
2.5.4 Vista Dati	47
2.5.5 Vista Prodotto	49
2.5.6 Vista Processo	50
2.6 Diagramma UML.....	54
2.7 Risultato atteso per un sistema di tracciabilità basato su blockchain.....	58
ANALISI DEI BUSINESS CASE	62
3.1 Obiettivi	62
3.2 La cantina “Placido Volpone S.r.l” – L’ azienda.....	65

3.2.1 Motivazioni alla base dell'adozione Blockchain	68
3.2.2 Il progetto "Wine Blockchain"	69
3.2.3 Le fasi del progetto.....	71
3.2.4 Risultati ottenuti	79
3.3 Spinosa S.p.a	81
3.4 Bofrost Italia	91
3.5 Carrefour Italia	95
3.6 Lavazza S.p.a	97
3.7 TATTOO WINE	101
CONCLUSIONI E SFIDE FUTURE.....	103
RINGRAZIAMENTI	106
BIBLIOGRAFIA.....	111

INTRODUZIONE

Il cibo, imprescindibile nella vita umana e nella tessitura delle società, non è solo una necessità biologica, ma un elemento che ha plasmato civiltà nel corso dei secoli. Tuttavia, l'attuale panorama alimentare è segnato da sfide pressanti, in particolare riguardo alla sicurezza e alla qualità dei prodotti.

Recenti crisi alimentari hanno destato allarme sulla sicurezza degli alimenti, mettendo in evidenza la fragilità delle intricate catene di approvvigionamento. La globalizzazione, con le sue lunghe distanze tra produzione e consumatore, ha amplificato queste preoccupazioni, sottolineando la necessità di una trasparenza immediata lungo l'intero percorso alimentare.

La tracciabilità, diventata cruciale in questo contesto, si scontra con la complessità della filiera alimentare, rendendo difficile lo sviluppo di soluzioni efficienti.

La quarta rivoluzione industriale ha introdotto strumenti digitali avanzati, unendo intelligenza artificiale, apprendimento automatico, analisi dei Big Data, robotica e IoT per trasformare la produzione e distribuzione alimentare. Tuttavia, emergono ancora lacune significative, specialmente in merito alla condivisione dei dati e all'interoperabilità tra sistemi.

In quest'ottica, la trasparenza, la visibilità e la fiducia rappresentano pilastri essenziali per una catena di fornitura efficace. Le aziende devono intensificare la sorveglianza sui fornitori e subfornitori per ridurre i rischi e accrescere la loro resistenza alle crisi.

La gestione della catena di fornitura richiede un approccio che coinvolga tutti gli attori, dai fornitori ai consumatori finali. Solo attraverso un impegno globale per la trasparenza e la collaborazione, sostenuto dall'innovazione della quarta rivoluzione industriale,

possiamo affrontare le attuali sfide e costruire un futuro più sicuro ed efficiente per l'industria agroalimentare.

La presente tesi è stata realizzata nell'ambito del PNRR finanziato dall'Unione europea e si propone di contribuire all'innovazione del sistema di trasformazione agroalimentare.

Il capitolo introduttivo avrà l'obiettivo di presentare i concetti fondamentali relativi alla tracciabilità, fornendo una panoramica dettagliata sui sistemi attualmente in uso e sulle relative limitazioni. Sarà inoltre esaminata la tecnologia blockchain e il suo potenziale contributo alla risoluzione delle sfide presenti nella filiera agroalimentare, attraverso un'analisi approfondita del suo funzionamento. All'interno di questa trattazione, saranno forniti accenni storici riguardanti l'origine della tecnologia blockchain e la sua evoluzione nel corso del tempo. Una fase ulteriore comprenderà un'analisi della letteratura scientifica, al fine di comprendere l'evoluzione degli studi in questo settore e valutare lo stato attuale delle ricerche. Infine, saranno evidenziate le opportunità, i punti di forza e le aree di debolezza della tecnologia proposta.

Nel secondo capitolo ci si addenterà più approfonditamente nella tematica, perseguendo la formulazione di un modello di riferimento volto alla progettazione di un sistema adatto a tutte le filiere del settore. Sarà presentato un approccio metodologico per la definizione dei requisiti che impiega un chiaro linguaggio formalizzato, al fine di descrivere senza ambiguità l'ambito della gestione aziendale che si intende sostenere. Tale capitolo si configurerà come un utile strumento pratico per i progettisti, finalizzato all'implementazione di un sistema che faciliti la standardizzazione, condivisione e sincronizzazione dei flussi informativi.

Il capitolo conclusivo sarà dedicato all'analisi di alcuni casi aziendali concreti, nei quali imprese hanno già implementato progetti pilota mirati al miglioramento della tracciabilità nel settore agroalimentare. I casi aziendali selezionati offriranno una panoramica completa delle soluzioni sviluppate, partendo dalle esigenze specifiche di

ciascuna azienda coinvolta. Tale approfondimento illustrerà le difficoltà riscontrate e i vantaggi derivanti dall'applicazione delle soluzioni proposte, coinvolgendo imprese eterogenee in filiere agroalimentari differenti. Si avranno così a disposizione tutti gli strumenti per riflettere in modo critico sui progressi conseguiti e sulle sfide future che la gestione della tracciabilità dovrà affrontare.

La decisione di esplorare l'impatto delle tecnologie digitali nel settore agroalimentare è stata guidata dalla mia personale passione per entrambi i mondi e dalla profonda convinzione che l'innovazione digitale possa apportare un contributo significativo a un settore che, fino a poco tempo fa, non godeva di un adeguato riconoscimento, essendo spesso percepito come unicamente finalizzato a soddisfare le necessità di approvvigionamento della popolazione.

Citando la nota affermazione del filosofo Ludwig Feuerbach, "Noi siamo quello che mangiamo", emergono chiaramente le implicazioni profonde della nostra alimentazione sulla nostra identità e salute. In questo contesto, ritengo sia opportuno dirigere l'attenzione verso il progresso digitale come leva per migliorare la qualità degli alimenti che costituiscono il fondamento della nostra dieta. Questo approccio non solo favorisce il benessere generale della popolazione, ma costituisce anche un veicolo per valorizzare prodotti di alta qualità, come quelli del Made in Italy. La tracciabilità digitale si configura quindi come un riconoscimento e una promozione dei cibi di alta qualità per favorire l'emergere e il successo dei prodotti autenticamente di eccellenza e costringere coloro che non rispettano gli standard qualitativi a riorientare la propria strategia.

CAPITOLO 1

TRACCIABILITÀ NEL SETTORE AGROALIMENTARE

1.1 La tracciabilità – Definizione

La tracciabilità, istituita in seguito a vari scandali agroalimentari, come obbligo legale per migliorare l'igiene e la sicurezza alimentare, svolge oggi una duplice funzione: oltre a soddisfare le crescenti esigenze di trasparenza e sicurezza dei consumatori, essa è diventata uno strumento chiave per potenziare la competitività e ottimizzare i processi produttivi delle imprese, consentendo una pronta individuazione delle responsabilità lungo l'intera catena di produzione. La tracciabilità si configura come un complesso processo di gestione, archiviazione e comunicazione dei dati, documentando ogni fase di lavorazione del prodotto "da monte a valle". Essa rende possibile la rintracciabilità, un processo che collega tutte le informazioni registrate e permette di risalire "da valle a monte" alla storia del prodotto. Questa forma di tracciabilità, orientata alla rintracciabilità, è conosciuta come **tracciabilità di filiera**, si basa sulle relazioni tra diverse aziende coinvolte ed è intrinsecamente collegata, richiedendo la partecipazione attiva di ciascun soggetto tramite sistemi di tracciabilità interna. La **tracciabilità interna** implica che ciascun soggetto registri l'origine dei materiali, i controlli di qualità, i tipi di lavorazione e le relative destinazioni lungo tutto il processo di produzione. Tutte le parti interessate di una catena di fornitura devono essere coinvolte e coordinarsi tra loro per produrre un risultato affidabile in termini di tracciabilità. Un'altra categorizzazione riguardante il livello di tracciabilità è stata effettuata dal mercato della Comunità Europea, che distingue la tracciabilità obbligatoria e quella volontaria. La **tracciabilità obbligatoria** ha principalmente a che fare con scopi finanziari e manca di informazioni dettagliate sui prodotti per quanto riguarda gli aspetti di qualità. In aggiunta alla tracciabilità obbligatoria, la **tracciabilità volontaria** si riferisce alla capacità di ogni attore della catena di fornitura di selezionare liberamente quali dati raccogliere

[1]. Giustificando il suo nome, la tracciabilità volontaria non è obbligatoria per le parti interessate. Una tracciabilità affidabile e completa è possibile solo quando esistono processi di tracciabilità sia obbligatori che volontari. Le parti interessate coinvolte nella catena di fornitura abilitano un sistema di tracciabilità più dettagliato e qualitativo quando aggiungono volontariamente informazioni. Una sfida principale per i sistemi volontari risiede nella loro complessità, dal momento che ogni attore può avere i propri standard e metodi per tracciare e rintracciare un prodotto, portando ad un'ampia varietà di dati acquisiti [2].

Con il **Regolamento CE n. 178** del 2002 i legislatori europei hanno stabilito i principi, le procedure necessarie ed i requisiti generali della legislazione alimentare e hanno inoltre istituito l'EFSA (Autorità europea per la sicurezza alimentare). Il regolamento definisce la cosiddetta "procedura di rintracciabilità": uno strumento che offre ai consumatori la possibilità di fare scelte consapevoli attraverso *“la possibilità di ricostruire e seguire il percorso di un alimento, di un mangime, di un animale destinato alla produzione alimentare o di una sostanza destinata o atta ad entrare a far parte di un alimento o di un mangime attraverso tutte le fasi della produzione, della trasformazione e della distribuzione”*.

1.2 Sistemi di tracciabilità attualmente in uso

La gestione della tracciabilità nell'ambito agroalimentare richiede la raccolta di un vasto volume di dati lungo l'intera catena di approvvigionamento. In passato, i primi sistemi di tracciabilità si affidavano al lavoro manuale dei dipendenti per registrare le informazioni sul campo, seguite dalla trasposizione manuale su registri cartacei o inserimento in sistemi informatici. Questo processo manuale di raccolta e trasferimento dei dati era suscettibile ad errori umani, con conseguente bassa qualità dei dati, inefficienza nelle risorse e possibile perdita di informazioni.

Il settore agroalimentare è divenuto uno dei principali pilastri del sistema economico europeo. L'Europa, vanta la leadership di esportazioni mondiali in campo agroalimentare, raggiungendo a gennaio 2023 un totale di 18 miliardi di euro[3]. Proprio sull'onda di questo grande potenziale economico, negli ultimi decenni, abbiamo assistito ad un considerevole progresso nella creazione di processi e prodotti automatizzati in ambito agroalimentare, insieme all'evoluzione delle tecnologie di comunicazione, portando all'emergere del concetto di **Internet delle cose (IoT)**. Questa veloce evoluzione dell'IoT e delle tecnologie dei sensori ha trasformato la raccolta dei dati, offrendo metodi rapidi e affidabili. Questi metodi includono l'impiego di tecnologie per l'identificazione del prodotto, l'analisi degli ingredienti, il monitoraggio del trasporto e dello stoccaggio, nonché l'acquisizione di informazioni durante l'intero processo di lavorazione e produzione. L'IoT permette a diversi dispositivi di collegarsi a Internet e scambiare dati utili mediante sensori wireless. Questi dati vengono inviati a server che li elaborano per compiere specifiche azioni nell'ambiente circostante, come la misurazione della temperatura, dell'umidità o il rilevamento del movimento di un oggetto. Diversi sensori raccolgono costantemente dati che possono essere sfruttati per prendere decisioni informate.

Un popolare abilitatore dell'IoT, fortemente implementato negli ultimi anni è il **RFID (Radio Frequency Identification)**, considerato come l'evoluzione dei codici a barre. L'RFID utilizza tecnologie a radiofrequenza per identificare oggetti, animali o persone a distanza. Questo processo avviene mediante l'utilizzo di etichette elettroniche che hanno come proprietà essenziale quella di dare un'identità unica a tutto ciò che è connesso e trasmesso attraverso i canali in radiofrequenza. Questo ID univoco, insieme a qualsiasi altro dato che può essere memorizzato sul dispositivo, può essere recuperato dai lettori RFID. I lettori RFID possono essere collegati a Internet, consentendo il monitoraggio dei dati in tempo reale. È composto da 3 elementi: TAG, Reader e Sistema di Gestione. L'identificazione avviene attraverso le onde radio, memorizzando così in

maniera autonoma dati ed informazioni utilizzando i TAG e i Reader. La complessa gestione e analisi dei dati letti/scritti sui TAG può essere affidata a un Management System: l'applicativo consente, tra le diverse funzionalità, la possibilità di tracciare un prodotto memorizzando in ogni TAG tutti i dati relativi alla sua storia produttiva/distributiva.

Un'alternativa o un complemento ai tag RFID sono le **reti di sensori wireless (WSN)**. Una WSN è costituita da sensori e attuatori wireless, come sensori di umidità, sensori di temperatura, sensori di suono, sensori di pressione, regolatori e altro. I dati raccolti dai sensori wireless vengono trasmessi attraverso la rete che può essere basata su diverse tecnologie come WiFi, Bluetooth, Zigbee o tecnologie cellulari. Questi dati possono essere raccolti e analizzati in tempo reale o memorizzati in cloud per analisi e audit successivi. Inoltre, le WSN possono essere combinate con tecnologie più avanzate come il GPS e il telerilevamento per fornire funzionalità aggiuntive. L'uso di codici a barre, QR code o tecnologie NFC può essere combinato con sensori per identificare in modo univoco ciascun prodotto alimentare. Questo può essere utile per tenere traccia di lotti specifici o per verificare l'autenticità dei prodotti.

La tecnologia NFC (Near Field Communication), un altro popolare abilitatore dell'IoT, è una tecnologia di comunicazione wireless a corto raggio che consente lo scambio di dati tra dispositivi compatibili situati a breve distanza uno dall'altro. La tracciabilità alimentare inizia con l'assegnazione di tag NFC agli alimenti. Questi tag possono essere etichette NFC incorporate direttamente nell'imballaggio dei prodotti o essere apposte su di esso. Ogni tag NFC contiene un codice univoco associato a quel prodotto specifico. Ogni volta che un prodotto alimentare con tag NFC viene maneggiato lungo la catena di approvvigionamento, i dati relativi a quella transazione vengono registrati e archiviati. Questi dati possono includere informazioni come data di produzione, data di scadenza, luogo di origine, informazioni sul trasporto e altro ancora. Ogni punto della catena di

approvvigionamento può essere dotato di lettori NFC per raccogliere questi dati. I tag NFC possono essere dotati di meccanismi di autenticazione e crittografia per garantire la sicurezza dei dati alimentari. I dati raccolti vengono trasmessi a un sistema centrale tramite connessione Internet. Questo sistema centrale può essere un sistema cloud o un server dedicato. Qui, i dati vengono archiviati, elaborati e resi disponibili per la gestione della catena di approvvigionamento.

I Datamatrix e i QR Code sono due tipologie di codici bidimensionali comunemente utilizzati per memorizzare informazioni in modo ottico. Entrambi sono costituiti da una matrice di punti o celle in bianco e nero o in colori chiari e scuri con forte contrasto, disposte in righe e colonne, ma differiscono per la loro struttura, capacità di memorizzazione e campo di applicazione. I Datamatrix (conformi allo standard ISO/IEC 16022) possono contenere fino a 3.116 caratteri numerici o fino a 2.335 caratteri alfanumerici. Questi codici includono una parte di ridondanza nel loro contenuto per ridurre le possibilità di perdita di informazioni causata da graffi o danni superficiali. D'altra parte i QR Code (conformi alla norma internazionale ISO/IEC 18004) possono ospitare un numero maggiore di dati, supportando fino a 7.089 caratteri numerici o fino a 4.296 caratteri alfanumerici. Una delle caratteristiche distintive dei QR code è la capacità di memorizzare caratteri Kanji e altri set di caratteri speciali, rendendoli adatti alle lingue non europee.

Infine, la **tracciabilità del DNA** è una tecnica emergente di tracciabilità che prevede l'analisi del DNA dei prodotti agricoli per determinarne l'origine e l'autenticità. Questa tecnica si basa su marcatori del DNA unici per specifiche regioni o varietà di colture. Confrontando i profili del DNA dei prodotti, è possibile verificarne l'origine e individuare eventuali pratiche fraudolente. La tracciabilità del DNA fornisce un ulteriore livello di fiducia e garanzia nella tracciabilità agroalimentare.

T. Taranya Reddy, Dr. Y. Rama Devi e G. Kavita [4] propongono lo schema a blocchi, rappresentato in Fig.1, che descrive i quattro livelli tecnologici che collaborano per fornire i principali dati di tracciabilità nella catena di approvvigionamento alimentare basata sull'IoT. Questi contribuiscono ad alimentare le fasi di identificazione, tracciabilità, monitoraggio e gestione delle informazioni.

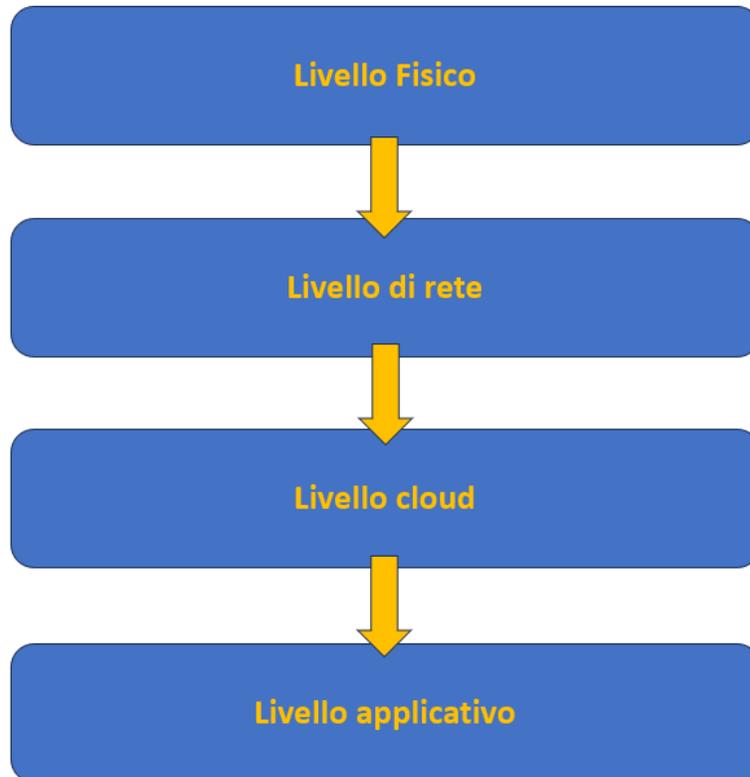


Figura 1: Livelli tecnologici in un sistema di tracciabilità basato sull' IoT [4]

1. **Livello fisico:** questo livello comprende le infrastrutture fisiche, sensori e gadget di cui si è discusso in precedenza (RFID, QR Code, Datamatrix etc...). Questi raccolgono informazioni sulla catena di approvvigionamento alimentare.
2. **Livello di rete:** Il livello di rete assume l'importante compito di instradare le informazioni raccolte dal livello fisico verso destinazioni quali altri sistemi centrali o il cloud, al fine di condurre elaborazioni e analisi. L'affidabilità e la sicurezza

della trasmissione dei dati sono rese possibili dall'infrastruttura di rete presente a questo livello, che ospita anche gateway e altri protocolli di comunicazione.

3. **Livello cloud:** Nella fase successiva, i dati raccolti dal livello fisico trovano posto nella piattaforma cloud. Qui, vengono elaborati, archiviati e analizzati mediante software basati su cloud. Questo ambiente consente alle parti coinvolte di accedere in modo agevole ai dati, fornendo loro una visione dettagliata e immediata della catena di approvvigionamento alimentare.
4. **Livello applicativo:** questo livello è costituito da numerosi programmi software che offrono dati in tempo reale alle parti interessate sulla filiera alimentare. Un esempio sono le app per telefoni cellulari, scannerizzando un QR code, grazie alle informazioni contenute in cloud, ciascun utente può restare aggiornato sulle informazioni relative al prodotto che sta scannerizzando.

I tradizionali sistemi di tracciabilità dell'Internet of Things (IoT) sopra descritti forniscono informazioni preziose per il monitoraggio e la tracciabilità della qualità degli alimenti. Tuttavia si basano sul paradigma server-client centralizzato, con infrastrutture cloud centralizzate spesso fornite da terze parti e questo implica che le parti interessate e i consumatori debbano fare affidamento su un unico punto di informazione per archiviare, trasmettere e condividere le informazioni di tracciabilità [5]. Da qui si intuiscono subito le problematiche relative all'integrità dei dati, alla sicurezza, alla perdita di informazioni e a rischi di manomissione, false dichiarazioni e adulterazione degli alimenti. Tutti gli attori dell'AFSC fanno affidamento su un unico punto di informazione, il sistema è basato sulla fiducia e ci si aspetta che ciascun attore fornisca al sistema informazioni adeguate ed oneste.

1.3 Problematiche della filiera alimentare

Nell'ambito dell' AgriFood SupplyChain (AFSC) ci sono diverse sfide critiche che richiedono attenzione. Queste sfide includono la possibile perdita o il furto dei prodotti, la loro adulterazione, la vendita illegale di prodotti scaduti o contraffatti, l'etichettatura non conforme e le difficoltà nel soddisfare la crescente attenzione dei clienti che richiedono trasparenza, verificabilità e sicurezza.

La catena di fornitura dell'agroalimentare coinvolge una vasta gamma di attori, ciascuno con un ruolo specifico. Questi attori possono essere suddivisi in entità sia interne che esterne al processo. Le entità interne comprendono imprese coinvolte nella produzione, nella trasformazione, nella logistica e nella vendita. D'altra parte, le entità esterne comprendono i consumatori e le agenzie di regolamentazione. Nell'ambito delle applicazioni pratiche, i dati nei tradizionali sistemi di tracciabilità sono generalmente centralizzati, con agenzie autorizzate che gestiscono il database centrale del sistema. Tuttavia, poiché le singole imprese gestiscono i dati di tracciabilità relativi ai propri nodi all'interno della catena di fornitura, sussiste il rischio di manipolazione dei dati. Affrontare in modo efficiente queste questioni è cruciale per migliorare la fiducia nella trasmissione delle informazioni tra i vari attori della filiera agricola. Questa fiducia è, a sua volta, fondamentale per il successo delle aziende operanti in questo settore.

In questo contesto, il sistema di tracciabilità è diventato un elemento vitale per migliorare l'efficienza e la qualità delle operazioni nelle AFSC. Un adeguato sistema di tracciabilità fornisce informazioni essenziali che aiutano a ridurre i costi, migliorare la resa e la qualità dei prodotti, ridurre gli sprechi e aumentare la produttività dei dipendenti. Inoltre, contribuisce a rendere l'intera catena di fornitura e i suoi stakeholder più competitivi sul mercato.

Nonostante siano stati sviluppati sistemi di tracciabilità specifici per i vari settori alimentari, è importante notare che non esiste un sistema di tracciabilità universale in

grado di adattarsi perfettamente alle esigenze delle diverse filiere alimentari. C'è una grande mancanza di standardizzazione per cui ogni attore della catena di fornitura sviluppa una soluzione proprietaria causando spesso enormi problemi di compatibilità con gli altri attori, con conseguente perdita di efficacia, efficienza e aumento dei costi.

Grandi passi verso lo sviluppo di un sistema standard di identificazione sono stati compiuti di recente. Parliamo ad esempio dell'applicazione degli standard EAN/UCC che impongono che tutti gli attori tengano registrati: i numeri seriali dell'unità logistica (Serial shipping container code - SSCC), i numeri identificativi (Global Trade Items Number - GTIN), i numeri attribuiti a luoghi quali sedi legali, imprese, negozi, enti pubblici (Global Location Numbers - GLN).

Gli standard EAN/UCC (GS1) sono nati inizialmente nell'Unione Europea per poi essere armonizzati a livello globale e forniscono un mezzo efficace per identificare e tracciare i prodotti in modo chiaro e non ambiguo. La questione della standardizzazione del trattamento delle informazioni non riguarda però solo la loro struttura (codici, sintassi, ecc.) ma anche l'EDI (Electronic Data Interchange). Molte sono le sfide in tal senso e questo è sicuramente dovuto alla complessità di sviluppare un quadro comune di tracciabilità che possa essere utilizzato in diverse catene del valore, mantenendo al contempo la flessibilità, la scalabilità, l'adattabilità delle soluzioni e garantendo privacy e sicurezza dei dati.

La Blockchain (BCT), in quanto registro decentralizzato, distribuito e condiviso, ha il potenziale per mitigare i problemi di fiducia tra le parti interessate, allevia gli attriti aziendali, migliora la visibilità delle attività della catena di fornitura, nonché quelle significative manipolazioni volontarie e accidentali nei documenti e nei processi di gestione; è lo strumento adeguato per tracciare e monitorare i prodotti alimentari nella catena di approvvigionamento perché fornisce una registrazione delle transazioni immutabile e a prova di manomissione. Una storia completa e accurata dell'origine, del

movimento e delle fasi di lavorazione e distribuzione di un prodotto alimentare può essere ottenuta tramite la BCT che consente di raccogliere informazioni eterogenee provenienti da un numero considerevole di stakeholder coinvolti. I gadget IoT sono utili per tenere d'occhio lo stato fisico dei prodotti alimentari, ma attualmente non sono abbinati alla tecnologia BCT. L'integrazione della BCT e dei dispositivi di tracciabilità digitale esistenti ha il potenziale per cambiare il modo in cui viene gestita la catena di approvvigionamento alimentare e per seguire il percorso di un alimento dalla fattoria alla tavola durante il suo intero viaggio [6].

Negli ultimi anni, come esamineremo dettagliatamente nel terzo capitolo, numerose imprese stanno avviando progetti pilota volti allo sviluppo di soluzioni innovative all'interno di tale contesto. Tali iniziative si rivelano promettenti e potrebbero generare soluzioni più efficienti ed adattabili per le catene di fornitura alimentare in prospettiva futura.

1.4 La blockchain – Panoramica e definizione

La blockchain è stata introdotta per la prima volta nel 2008 da una persona o gruppo di persone conosciute con lo pseudonimo di Satoshi Nakamoto, il quale pubblicò un documento intitolato "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System". Questo documento presentava il concetto di Bitcoin e della tecnologia sottostante, la blockchain. L'autore definiva il sistema Bitcoin come *“una versione puramente peer-to-peer di moneta digitale che consente di effettuare pagamenti online direttamente da un utente all'altro senza avere la necessità di passare attraverso un istituto finanziario”*[7].

Nakamoto, nel suo documento, proponeva un sistema di transazioni che avrebbe potuto eliminare il ruolo degli intermediari centrali, portando così a un significativo cambiamento nei paradigmi su cui si fonda la struttura della società contemporanea.

La blockchain è stata ideata come un registro digitale decentralizzato e distribuito che registra le transazioni in modo sicuro e trasparente. Si tratta fondamentalmente di una catena di blocchi di informazioni, dove ciascun blocco contiene una serie di transazioni. Questi blocchi sono concatenati insieme in modo crittografico, creando una struttura di dati immutabile e in continua crescita.

La tecnologia blockchain ha introdotto il concetto di consenso distribuito, che permette ai nodi della rete di raggiungere un accordo sullo stato condiviso del registro senza la necessità di un'autorità centrale, rivoluzionando la fiducia e la sicurezza nelle transazioni digitali e permettendo ad individui e organizzazioni di effettuare scambi diretti e trasparenti senza la necessità degli intermediari tradizionali. Ciò avviene attraverso processi come il mining, la Proof of Work (PoW) o altri algoritmi di consenso che garantiscono l'aggiornamento sicuro e condiviso del registro.

Una caratteristica chiave della blockchain è la sua immutabilità: una volta che le informazioni sono state convalidate e registrate, non possono essere cancellate. Un blocco della blockchain è composto da quattro campi: il numero di blocco, dati memorizzati, un valore che rappresenta l'hash del blocco precedente e un valore che rappresenta il proprio hash. L'hash funge da impronta digitale per i dati del blocco, garantendone l'integrità e impedendone la manomissione. L'immutabilità della blockchain deriva dal collegamento crittografico dei blocchi. Se i dati di un blocco vengono manomessi, il suo hash cambia, interrompendo il collegamento crittografico con i blocchi successivi e rendendoli non validi. Per risolvere i potenziali problemi di ripristino dei dati causati da modifiche dolose o errori di sistema, la tecnologia blockchain utilizza reti distribuite peer-to-peer (P2P). Queste reti memorizzano e trasferiscono i dati tra i nodi senza la necessità di un punto di archiviazione centrale, aumentando la sicurezza dei dati. In una rete blockchain P2P, i blocchi vengono effettivamente copiati su tutti i computer collegati tramite chiavi crittografiche. Ogni volta che si inserisce un dato nella blockchain quindi, esso viene distribuito

simultaneamente su tutti i nodi della rete. Questo processo rende virtualmente impossibile apportare modifiche non autorizzate ai dati, a meno che non si segua un complesso procedimento che richiede il consenso della maggioranza dei nodi partecipanti alla rete. Anche in questo caso, tali modifiche non influenzeranno la cronologia dei dati stessi, che rimarrà invariata. La complessità e la sicurezza della blockchain aumentano con la crescita della rete. Per rompere la blockchain, un aggressore dovrebbe controllare o manipolare almeno il 50% dei peer della rete.

Per spiegare in modo semplificato il meccanismo pratico alla base di una transazione blockchain, utilizziamo l'esempio di "Alice compra una pizza da Bob"[8]. Immaginiamo che Alice voglia acquistare una pizza da Bob utilizzando una criptovaluta come il Bitcoin. Ecco come funzionerebbe il processo su una blockchain:

1. **Creazione di una transazione:** Inizialmente, Alice crea una transazione per indicare che desidera inviare una certa quantità di Bitcoin a Bob in cambio di una pizza. Questa transazione viene identificata con un indirizzo Bitcoin di Alice come mittente e l'indirizzo di Bob come destinatario. La transazione contiene anche l'importo specifico di Bitcoin da trasferire.
2. **Firma digitale:** Alice firma digitalmente la transazione utilizzando la sua chiave privata. La firma digitale garantisce che la transazione sia autentica e che provenga effettivamente da Alice.
3. **Diffusione della transazione:** La transazione firmata viene quindi trasmessa alla rete blockchain. Tutti i nodi (computer) nella rete ricevono questa transazione e la verificano per garantire che la firma digitale sia valida e che Alice abbia abbastanza Bitcoin nel suo account per effettuare la transazione.
4. **Validazione tramite mining:** Una volta che la transazione viene trasmessa, entra in un pool di transazioni in attesa di essere confermata. Qui, i miners (nodi

specializzati) raccolgono transazioni e competono per risolvere un problema crittografico complesso noto come "proof of work" (PoW). Il primo miner a risolvere il problema può confermare il blocco di transazioni e guadagna una ricompensa in Bitcoin.

5. **Inclusione nella blockchain:** Una volta che un blocco viene confermato da un minatore, la transazione di Alice e tutte le altre transazioni all'interno del blocco vengono aggiunte alla blockchain. La blockchain registra quindi la nuova proprietà dei Bitcoin da Alice a Bob.
6. **Conferma della transazione:** La transazione è ora immutabilmente registrata nella blockchain, il che significa che è verificata e convalidata. Bob può ora vedere che ha ricevuto i Bitcoin da Alice come pagamento per la pizza.

A partire dalla sua creazione nel 2008, la blockchain ha evidenziato negli anni un rapido processo evolutivo. Inizialmente concepita come la tecnologia sottostante alla criptovaluta pionieristica Bitcoin, la blockchain ha dimostrato un potenziale ben più ampio. Nel corso degli anni, sono emerse diverse varianti della blockchain, ciascuna con caratteristiche specifiche. A questo proposito, si è soliti dividere lo sviluppo delle sue applicazioni in tre fasi diverse:

- **Blockchain 1.0:** incentrata sulle criptovalute e l'uso di registri distribuiti, principalmente utilizzata per registrare transazioni finanziarie;
- **Blockchain 2.0:** caratterizzata da una maggiore complessità e flessibilità rispetto alla Blockchain 1.0, va oltre le semplici transazioni di criptovaluta e introduce i contratti intelligenti (smart contracts) che consentono di automatizzare gli accordi tra le parti. Ethereum è considerata da molti come il primo e più significativo esempio di Blockchain 2.0;
- **Blockchain 3.0:** si concentra sull'ottimizzazione delle prestazioni per gestire una maggiore quantità di transazioni e dati in modo più efficiente rispetto alle

generazioni precedenti. Gli obiettivi chiave sono l'interoperabilità tra diverse reti blockchain, la scalabilità per evitare problemi di congestione della rete e infine l'ampliamento delle applicazioni settoriali, come ad esempio la supply chain del settore agroalimentare di nostro interesse.

1.4.1 Tipologie di blockchain

Non approfondiremo in maniera esaustiva i dettagli tecnici e le specifiche caratteristiche informatiche della tecnologia blockchain, in quanto numerosi articoli scientifici si occupano di quest'aspetto e ciò non rientra nell'obiettivo principale della presente tesi. Tuttavia, è essenziale evidenziare l'esistenza di diverse categorie di blockchain ciascuna con caratteristiche uniche e adatte a specifici casi d'uso.

1. **Blockchain pubblica (Public Blockchain):** Le blockchain pubbliche sono accessibili a chiunque e non richiedono autorizzazioni per partecipare. I dati sono visibili a tutti e la sicurezza è garantita tramite meccanismi di consenso decentralizzato. Tutti i nodi hanno uguali diritti, possono validare transazioni e creare blocchi e quindi contribuire al processo di consenso. Sono protette da verifiche crittografiche e prevedono incentivi ai miners. Poiché nessun utente è fidato, tutti gli utenti seguono un algoritmo che verifica le transazioni risolvendo un puzzle crittografico. Il miner che trova per primo la soluzione viene premiato e ogni nuova soluzione costituisce la base per il prossimo problema da risolvere. Questi complessi meccanismi di consenso inducono le blockchain pubbliche ad avere tempi di convalida più lunghi rispetto alle private. Alcune delle blockchain pubbliche più note includono Bitcoin ed Ethereum.
2. **Blockchain privata (Private Blockchain):** Le blockchain private sono controllate da un'entità centralizzata o un gruppo ristretto di partecipanti. L'accesso e la partecipazione sono regolati da permessi. L'autorità centrale determina chi può

essere un nodo e inoltre non permette a ciascun nodo di avere stessi diritti per svolgere funzioni. Sono solo parzialmente decentralizzate e l'accesso pubblico è limitato. Non avendo bisogno di complessi algoritmi di consenso hanno una velocità maggiore in termini di conferma delle transazioni. Le blockchain private sono generalmente utilizzate dalle imprese per scambiare dati al loro interno o tra i loro partner.

3. **Blockchain consortile (Consortium Blockchain):** La governance non è centralizzata ma è distribuita tra le società partecipanti al consorzio. L'accesso è regolamentato da un gruppo selezionato di partecipanti con interessi comuni. Sono simili alle blockchain private, ma essendo parzialmente decentralizzate possono vantare livelli di sicurezza più elevati. Sono adatte per settori in cui diverse entità devono collaborare ma desiderano mantenere il controllo su chi può partecipare.
4. **Blockchain ibrida (Hybrid Blockchain):** Le blockchain ibride combinano elementi di blockchain pubbliche e private, consentendo la flessibilità nella gestione dell'accesso e della privacy. Questa tipologia offre un equilibrio tra la decentralizzazione delle blockchain pubbliche e il controllo delle blockchain private. Possono essere utili quando è necessaria una rete aperta con alcune restrizioni. I membri di questo tipo di BC possono decidere chi può prenderne parte e l'accesso alle informazioni complete all'interno della blockchain potrebbero essere limitate, a seconda del ruolo dell'utente. Questo porta il meglio di entrambi i mondi e garantisce che un'azienda possa lavorare con i suoi stakeholder nel miglior modo possibile.

Ogni tipo di blockchain ha i suoi vantaggi e limitazioni, ed è essenziale scegliere la tipologia giusta in base alle esigenze specifiche di un progetto o di un'applicazione. La scelta dipenderà dalla necessità di decentralizzazione, controllo, privacy e apertura

all'accesso. In [9], Kramer M, Bitsch L. e Hanf J, esplorano gli impatti sul funzionamento delle reti agroalimentari coinvolte in una cooperazione verticale. Questa ricerca si concentra sullo studio delle diverse forme di tecnologie basate su blockchain (BCTPT), evidenziando come la selezione di una piattaforma specifica giochi un ruolo cruciale nel determinare il successo economico del caso d'uso previsto e nell'ottimizzazione della gestione della catena di approvvigionamento.

1.4.2 Smart Contract

Gli smart contract rivestono un ruolo fondamentale nell'automazione dei processi aziendali. Questo concetto è stato originariamente teorizzato da Nick Szabo tra il 1994 e il 1997. Szabo ha definito gli smart contract come "protocolli per transazioni computerizzate in grado di eseguire i termini di un contratto" [10].

Questi contratti innovativi si distinguono per la loro capacità di attuare in modo automatico azioni predeterminate quando specifiche condizioni vengono soddisfatte, senza necessità dell'intervento di intermediari. Tuttavia, è importante precisare che i contratti intelligenti non incorporano elementi di intelligenza artificiale e non costituiscono contratti legali nel senso tradizionale. Sono, piuttosto, programmi immutabili che risiedono all'interno di una blockchain e si attivano in risposta a eventi specifici, interpretando e registrando dati all'interno di un registro condiviso.

Quando una transazione viene completata digitalmente e registrata in un blocco, essa è confermata e aggiunta alla blockchain. Ogni partecipante mantiene una copia del contratto intelligente, e può accedere alla cronologia delle transazioni e allo stato attuale di tutti i contratti intelligenti. Lo Smart Contract ha un funzionamento molto simile a quello esposto precedentemente per la transazione tra Alice e Bob. Quest'ultimo viene verificato dai miners, validato e in ultimo, registrato in maniera indelebile sulla Blockchain.

I contratti intelligenti possono essere classificati in due categorie: deterministici e non deterministici. I contratti deterministici operano autonomamente sulla blockchain senza richiedere informazioni esterne. In questo caso, la blockchain detiene tutte le informazioni necessarie per generare azioni come risultato dell'esecuzione del contratto. Al contrario, i contratti non deterministici richiedono l'apporto di informazioni provenienti da dispositivi o fonti esterne per decidere il proprio corso d'azione. La loro esecuzione non è prevedibile basandosi solamente sullo stato interno della blockchain, il che li rende più complessi da gestire e richiede una maggiore fiducia nelle fonti di dati esterne. Questa tipologia è particolarmente utile in contesti in cui occorre prendere decisioni basate su eventi del mondo reale e spesso viene impiegata in combinazione con l'Internet delle cose (IoT) per automatizzare azioni in risposta a dati generati da dispositivi IoT [11]. Ad esempio, in un'applicazione IoT per la gestione di un magazzino, i sensori posti sugli scaffali possono monitorare il livello delle scorte. Quando questo livello scende al di sotto di un certo valore, i dati generati dai sensori vengono inviati a un contratto intelligente non deterministico sulla blockchain. Questo contratto può quindi decidere automaticamente di effettuare un ordine di rifornimento dai fornitori seguendo regole predefinite. È tuttavia essenziale garantire l'affidabilità e la sicurezza delle fonti di dati esterne per evitare errori o manipolazioni nei processi automatizzati.

Per garantire che gli smart contract ricevano dati accurati da fonti esterne, vengono utilizzati "Oracles", agenti digitali o fisici che forniscono e verificano le informazioni necessarie. Questi agenti fungono da intermediari tra la blockchain e il mondo esterno, svolgendo un ruolo cruciale nelle operazioni automatizzate. Ad esempio, in un contratto intelligente che gestisce un'applicazione IoT per il monitoraggio delle condizioni meteorologiche, un oracle può fornire i dati meteorologici attuali alla blockchain, consentendo al contratto di prendere decisioni basate su queste informazioni, come ad esempio attivare un avviso di maltempo o sospendere un'operazione.

Gli smart contract sono di particolare rilevanza per le imprese poiché consentono di automatizzare processi complessi e di semplificare le interazioni con fornitori, venditori e investitori. Le aziende possono connettere le loro infrastrutture esistenti tramite smart contract, riducendo il lavoro manuale e consentendo ai dipendenti di concentrarsi su compiti più strategici. Gli smart contract possono monitorare lo stato del magazzino, verificare la conformità delle consegne e persino effettuare pagamenti automatici, riducendo i costi e aumentando l'efficienza.

L'uso degli smart contract offre numerosi vantaggi, tra cui l'anonimato, l'eliminazione dei costi di intermediari, l'esecuzione automatica, la bassa spesa per la modifica dei contratti, l'immunità alle interferenze e l'immutabilità delle informazioni all'interno della blockchain. Questa tecnologia consente di tracciare e registrare una storia completa delle transazioni nel tempo, aumentando la trasparenza e la sicurezza[12].

Dopo aver illustrato le caratteristiche principali della tecnologia di riferimento del nostro lavoro di tesi, è chiaramente deducibile che implementare un sistema di tracciabilità valido per tutte le filiere agroalimentari basato su blockchain non è affatto banale. Sebbene la ricerca abbia mostrato numerosi progressi a partire dal 2016, la loro applicazione nelle imprese reali è agli inizi ed è più complessa quando l'AFSC in esame è globale [13]. Per una corretta ed efficiente implementazione del processo è necessario il coinvolgimento massivo di un gran numero di professionisti con competenze multidisciplinari, professionisti in ambito agroalimentare per la comprensione approfondita di tutti i passaggi da tracciare e specialisti informatici con grande conoscenza della tecnologia.

1.5 Revisione della letteratura scientifica

Per lo sviluppo di questo lavoro di tesi sono state consultate ed analizzate diverse fonti: articoli scientifici, conference paper, capitoli di libri e revisioni letterarie. È stato

interessante notare che mentre a partire dal 2012 gli studi si concentravano per lo più sulla tracciabilità dell' AFSC esplorando le tecnologie dell' IoT, a partire dal 2016 fino ad oggi, sono tantissimi gli autori che vedono nella blockchain lo sviluppo potenzialmente più promettente in termini di costruzione di un sistema di tracciabilità efficiente. Nessuna pubblicazione precedente al 2016 riguardante l'applicazione della blockchain è stata recuperata, indicando che gli studi sulla tracciabilità basata su BCT nell'AFSC sono emersi di recente ma stanno crescendo in maniera esponenziale. A dimostrazione esemplificativa di quanto affermato, la Fig. 2 è un estratto fedele dell'analisi dei risultati di Scopus. È stata condotta la ricerca filtrando per: parole chiave, titolo dell'articolo e contenuto dell'abstract, usando la stringa ("Agri-food" OR "food") AND "blockchain" AND "traceability", non imponendo alcuna limitazione temporale relativa all'anno di pubblicazione. Sono stati ottenuti ben 668 documenti, ognuno di questi analizza il ruolo della blockchain all'interno di diverse filiere alimentari: carne, frutta e verdura, grano e cereali, olio, vino e pesce. Vediamo che la curva cresce di anno in anno, dal 2022 ad oggi assistiamo ad un'impennata negativa sicuramente legata al fatto che la ricerca è stata effettuata a settembre 2023.

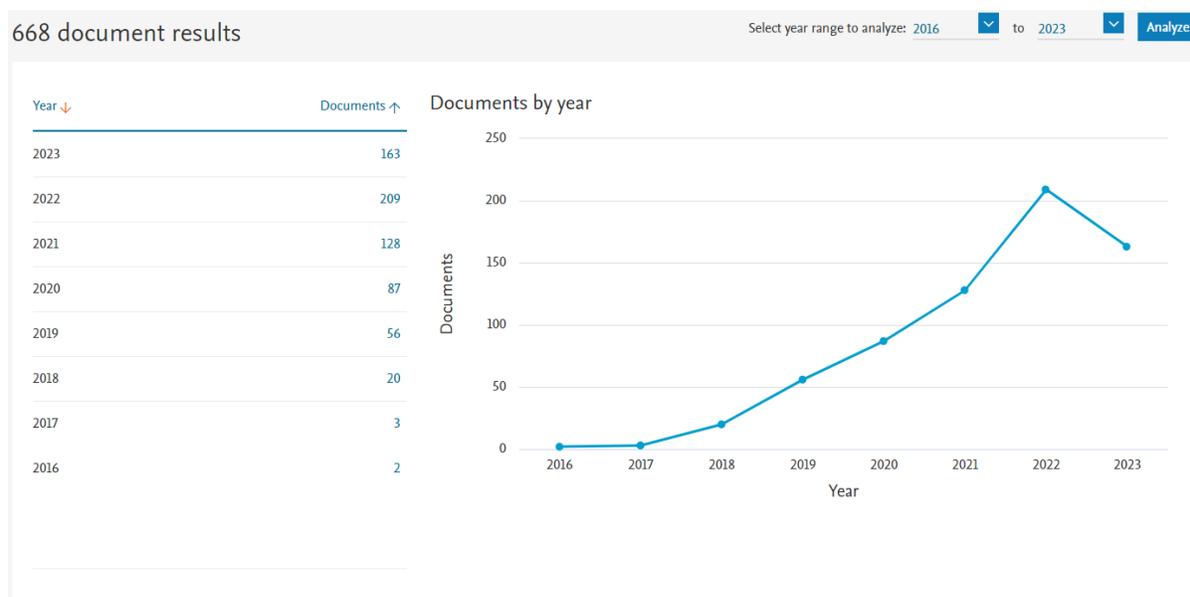


Figura 2: Analisi dei risultati (Fonte: Scopus)

Di seguito una rassegna dei principali articoli consultati con breve descrizione degli aspetti principali a cui ognuno di essi fa riferimento:

In [14] Yang X, Li M. et al. propongono un sistema innovativo per la rintracciabilità dei prodotti ortofrutticoli, sfruttando la tecnologia blockchain con l'obiettivo di risolvere le attuali problematiche legate alla tracciabilità. Per realizzare questo obiettivo, hanno sviluppato una soluzione basata sull'integrazione di blockchain e database. Utilizzando questa sinergia, i dati vengono memorizzati in modo inalterabile sulla blockchain, mentre i dati pubblici sono immagazzinati nel database per ottimizzare le prestazioni e ridurre il carico sulla catena blockchain, consentendo così query più efficienti. Sulla stessa linea d'onda anche Keerthivasan E., Vignesh K et al. in [15], esplorano l'applicazione BCT per la filiera di prodotti ortofrutticoli, focalizzandosi però sulle implicazioni qualitative e sociali, giungendo alla conclusione che, pur essendo una tecnologia promettente, presenta diverse sfide che possono ostacolarne l'adozione. Tra i limiti individuati, figurano le opinioni degli esperti, le direttive, le strategie e le strutture amministrative che possono rappresentare ostacoli significativi per l'ulteriore sviluppo di questa tecnologia in questo settore specifico.

Feng Tian [16], ha condotto un'analisi su due categorie di prodotti agroalimentari: i prodotti freschi come frutta e verdura, e le carni. L'autore ha adottato una combinazione di tecnologie blockchain e identificazione a radiofrequenza (RFID). La blockchain è stata impiegata in una modalità decentralizzata, garantendo così l'accesso a tutte le parti coinvolte per monitorare transazioni e informazioni relative ai prodotti. La soluzione proposta da Tian presenta vantaggi significativi ma anche sfide notevoli, tenendo conto degli aspetti sociali, finanziari e tecnici, se confrontata con le soluzioni centralizzate.

Nel suo lavoro successivo, descritto nel riferimento [17] l'autore ha ulteriormente evoluto la sua soluzione precedente, mantenendo l'approccio decentralizzato e incorporando sinergicamente la blockchain, strumenti dell'Internet delle cose (IoT) e l'analisi dei rischi e dei punti critici di controllo (HACCP).

Xu C., Chen K. Et al. in [18] e Morais et al. in [19], propongono un sistema di tracciabilità per i frutti urbani in un processo “dalla fattoria alla tavola” basato su blockchain per l’IoT con l’obiettivo di mitigare il rischio di scarsa qualità e frode. Inoltre, vengono sviluppati il meccanismo di consenso e il modello di contratto intelligente.

In [20] viene introdotta una soluzione per la tracciabilità della soia, sfruttando la tecnologia blockchain Ethereum con contratti intelligenti e l'Interplanetary File System (IPFS) per la memorizzazione di alcuni dati. Questa strategia mira a evitare il sovraccarico sulla catena blockchain, sfruttando uno spazio di archiviazione “associativo”. Nel frattempo Daniel Tse et al. [21] si concentrano sul crescente problema della sicurezza alimentare in Cina. Il loro articolo presenta un’analisi ambientale basata sugli aspetti politici, economici, sociali e tecnologici (PEST) al fine di identificare le sfide e le opportunità legate alla soluzione proposta.

Leng et al. [22] conducono uno studio interessante, proponendo una soluzione a doppia catena per la filiera agricola. I risultati delle prove condotte sul quadro proposto mostrano che la soluzione a doppia catena non solo garantisce la trasparenza e la sicurezza delle informazioni sulle transazioni e la riservatezza delle informazioni aziendali, ma può anche migliorare significativamente la credibilità della piattaforma di servizio pubblico e l'efficienza complessiva del sistema.

Caro et al. [23] propongono una piattaforma blockchain chiamata AgriBlockIoT per la filiera agricola, la soluzione proposta può fare affidamento sulle implementazioni blockchain disponibili pubblicamente di Ethereum o Hyperledger ed è in grado di integrare vari dispositivi di sensori IoT.

Koirala et al. in [24], Baralla et al. in [25], Lin et al. in [26] nel 2019 e Yang et al. in [14] nel 2021 propongono un quadro simile di utilizzo di blockchain consortili e contratti intelligenti. Nello specifico [26] e [14] per rendere la blockchain più efficiente, promuovono l’idea di ridurre i dati archiviati sulla blockchain, utilizzando un approccio on-chain/off-chain in cui i dati on-chain sono quelli necessari per tracciare e rintracciare

un prodotto, e i dati fuori catena sono dati aziendali, la maggior parte dei quali sono riservati e quindi crittografati. Il progetto “BRUSCHETTA” nel 2019 [27], presenta un'applicazione basata su blockchain per la tracciabilità e la certificazione della filiera dell'Olio Extra Vergine di Oliva (EVOO). L'obiettivo è consentire al cliente finale di accedere a una storia del prodotto a prova di manomissione, compresi i processi di coltivazione, raccolta, produzione, confezionamento, conservazione e trasporto. BRUSCHETTA sfrutta le tecnologie Internet of Things (IoT) per interconnettere i sensori dedicati al controllo di qualità dell'olio EVO e lasciarli operare sulla blockchain. Sulla scia di BRUSCHETTA, nel 2022, durante la 17° Conferenza Iberica sui sistemi e le tecnologie dell'informazione [28], viene proposto per la stessa filiera, l'utilizzo di smart contract e Web DApp. Durante la Conferenza araba internazionale sulla tecnologia dell'informazione nel 2022 viene presentato alla commissione il caso studio Carrefour UAE e la sua collaborazione con IBM Food Trust [29]. Tra i più recenti documenti consultati, interessante il [30] di Gazzola et al. del 2023 che analizzano il progetto pilota di Lavazza, che ha recentemente introdotto sul mercato un prodotto tracciato su blockchain con piattaforma xFarm.

1.6 Vantaggi e sfide nell'applicazione della blockchain

L'obiettivo principale della tesi non è quello di indirizzare il lettore verso una specifica scelta di implementazione, poiché la selezione di un particolare tipo di blockchain, nonché la valutazione di opportune combinazioni come "blockchain e database" [14], applicazioni Ethereum o Hyperledger [23], soluzioni a doppia catena [22] o Blockchain per l'IoT ([18], [19], [27]) sono strettamente dipendenti dalle specifiche caratteristiche del dominio applicativo. La selezione richiede un rigoroso processo di pre-valutazione qualitativa e tecnica. Tuttavia, è possibile riassumere alcuni dei principali risultati emersi dalle diverse ricerche condotte. Senza dubbio, l'indagine ha rilevato una serie di sfide legate all'implementazione, ma ha altresì evidenziato una serie di vantaggi.

Tra le sfide individuate, l'interruzione delle pratiche consolidate nel settore agroalimentare rappresenta un ostacolo significativo, con la potenziale resistenza delle parti interessate che potrebbe limitare l'adozione di soluzioni basate su blockchain. La trasformazione digitale in un settore caratterizzato dalla presenza di numerosi attori e responsabilità articolate, aggiunge complessità alla gestione di iniziative di cambiamento tecnologico.

La necessità di stabilire accordi solidi sull'archiviazione e la condivisione dei dati, soprattutto in contesti agroalimentari globali e complessi, è emersa come una sfida critica. È imperativo prestare grande attenzione ai dati sensibili di una singola azienda per evitare che tali informazioni vengano erroneamente condivise con altri.

La blockchain inoltre, può garantire l'integrità dei dati, ma la qualità delle informazioni inserite richiede attenzione alle tecnologie associate.

L'onere finanziario e le notevoli risorse richieste per implementare sistemi di tracciabilità basati su blockchain sono riconosciuti come aspetti da valutare attentamente. Ciò include investimenti in infrastrutture digitali e formazione del personale, mettendo in luce le sfide economiche e organizzative associate a questa tecnologia. Le imprese potrebbero necessitare di incentivi governativi al fine di agevolare l'iniziale peso finanziario associato.

La disparità digitale tra paesi industrializzati e in via di sviluppo è riconosciuta come una sfida importante, specialmente in contesti agroalimentari globali. La questione del costo e dell'efficacia dei sistemi di tracciabilità basati su blockchain rispetto a stakeholder provenienti da realtà economiche diverse è un punto critico.

D'altra parte, sono stati identificati numerosi vantaggi derivanti dall'applicazione della tecnologia. La decentralizzazione elimina la dipendenza da un server dati centrale, riducendo i rischi legati alla sicurezza alimentare e favorendo una cooperazione più robusta tra gli attori della filiera. La sicurezza, l'efficienza e la prevenzione delle frodi

contribuiscono a preservare la qualità alimentare e a garantire decisioni di acquisto più sicure per i consumatori.

Inoltre, l'implementazione della blockchain può promuovere la sostenibilità degli AFSC, grazie alla riduzione degli sprechi e delle perdite alimentari, poiché eventuali guasti o malfunzionamenti verrebbero individuati in modo tempestivo riducendo le perdite relative al ritiro dei prodotti. È favorito inoltre il commercio equo e migliorata la reputazione delle aziende coinvolte. Ciò potrebbe aumentare la competitività, facilitare l'accesso a nuovi mercati e migliorare le relazioni tra produttori e consumatori lungo tutta la catena di fornitura.

Un punto di riflessione essenziale riguarda l'importanza dell'interoperabilità tra diverse blockchain e sistemi di tracciabilità digitale. La necessità di sviluppare standard comuni e protocolli di comunicazione è cruciale per garantire una coerenza e una condivisione efficace dei dati lungo l'intera catena di approvvigionamento, facilitando così la collaborazione tra i vari attori del settore.

La questione della sicurezza informatica è centrale in un contesto in cui la fiducia è fondamentale. Mentre la blockchain offre una sicurezza intrinseca attraverso la crittografia e la decentralizzazione, è essenziale implementare misure aggiuntive per proteggere le informazioni sensibili e prevenire attacchi informatici che potrebbero compromettere l'integrità dei dati.

Un altro aspetto cruciale è il coinvolgimento delle comunità locali e la consapevolezza dei consumatori. La trasparenza fornita dalla blockchain potrebbe essere sfruttata per coinvolgere i consumatori, consentendo loro di rintracciare l'origine e la qualità degli alimenti. L'educazione e la consapevolezza delle comunità locali possono contribuire a una maggiore adozione e accettazione di queste nuove tecnologie.

È altresì essenziale considerare il contesto normativo in continua evoluzione. Le leggi e i regolamenti che governano la filiera agroalimentare e la tecnologia blockchain possono influenzare significativamente l'implementazione di queste soluzioni. L'adeguamento

alle normative vigenti e la collaborazione con le autorità di regolamentazione sono fattori chiave per garantire il successo dell'adozione di blockchain nel settore.

Infine, vale la pena esaminare le tendenze emergenti, come l'integrazione di tecnologie avanzate come l'intelligenza artificiale e l'Internet delle cose (IoT) con la blockchain. Questa combinazione potrebbe portare a soluzioni più avanzate per la tracciabilità e la gestione della filiera agroalimentare, migliorando ulteriormente l'efficienza e la sicurezza dei processi.

CAPITOLO 2

PROGETTAZIONE DEL SISTEMA DI TRACCIABILITÀ

2.1 Obiettivi

Creare un modello standard di riferimento per la tracciabilità del sistema agroalimentare non è una questione semplice. Lo sviluppo di un sistema di tracciabilità efficace richiede un'attenta e dettagliata esplorazione della catena di fornitura così da analizzare il mercato di riferimento ed individuarne i suoi confini. La procedura implica un'analisi approfondita degli attori coinvolti, una scomposizione accurata dei processi fondamentali, l'individuazione delle risorse coinvolte e la determinazione dei flussi informativi e dei dati critici necessari per garantire una tracciabilità impeccabile. Per avviare il processo di definizione delle specifiche per il sistema di tracciabilità, è imperativo creare un modello di riferimento che abbracci tutti gli aspetti chiave in gioco.

Dato che l'implementazione richiede la collaborazione tra più soggetti che possiedono background, informazioni e necessità differenti, l'obiettivo è creare un linguaggio comune di comprensione per abbattere le barriere esistenti tra sviluppatori e utenti.

Una volta individuati attori, funzioni, risorse e processi, tramite interviste e collaborazioni con gli operatori delle aziende coinvolte, si ricavano i requisiti che il sistema deve soddisfare.

Pertanto, in questo capitolo, presenteremo un approccio metodologico per la definizione dei requisiti che fa uso di un chiaro linguaggio formalizzato, al fine di descrivere senza ambiguità l'ambito della gestione aziendale che intendiamo sostenere. Questo quadro di riferimento costituirà una solida base per una transizione coerente ai sistemi informatici. Applicando il concetto di definizione dei requisiti alla progettazione del sistema blockchain che vogliamo implementare, compiamo un passo in avanti nell'analisi delle specifiche. È importante notare che requisiti e specifiche di progettazione sono collegati

in modo flessibile, il che significa che possiamo apportare modifiche alle specifiche di progettazione senza dover necessariamente rivedere in modo sostanziale i requisiti precedentemente definiti. Durante la fase di implementazione pratica, le specifiche di progettazione verranno tradotte in codice eseguibile, quindi concretizzate in componenti hardware e software perfettamente funzionali.

Si cercherà dunque di fornire al lettore un modello di riferimento che possa essere un supporto pratico per la progettazione. La modellazione dei processi, strumento indispensabile per registrare e monitorare le operazioni con successo, contribuisce ad una migliore comprensione della struttura e del funzionamento aziendale, permette di definire i dati da sottoporre a tracciamento e di individuare le fonti di provenienza di tali dati.

2.2 L'industria agroalimentare secondaria

Alla fine degli anni '60, Louis Malassis, definì la filiera come *"... l'itinerario seguito da un prodotto all'interno dell'apparato agroalimentare. Essa riguarda l'insieme degli agenti o attori (imprese e amministrazioni) e delle operazioni (produzione, ripartizione, finanziamento) che concorrono alla formazione o al trasferimento del prodotto fino al suo stadio finale di utilizzo, come pure i meccanismi di adeguamento dei flussi dei fattori e dei prodotti lungo la filiera e nella sua fase finale"* [31] .

La Food Value Chain o catena del valore alimentare, è un concetto chiave nel settore alimentare che rappresenta il processo completo attraverso il quale il cibo viene prodotto, trasformato, distribuito e infine reso disponibile ai consumatori. Questa catena coinvolge una serie di attori e attività che lavorano insieme per portare il cibo dalla fase di produzione agricola fino ai tavoli dei consumatori. La FVC è notoriamente caratterizzata da una notevole complessità e frammentazione. Alcune delle

caratteristiche che la rendono diversa e sicuramente più complessa delle altre sono citate in [32] e riassunte nei seguenti punti:

1. **Ciclo di Vita Breve:** La maggior parte dei prodotti alimentari ha un ciclo di vita molto breve, il che rende necessaria una lavorazione veloce e tempi di conservazione ridotti.
2. **Prodotti Deperibili:** I beni deperibili richiedono condizioni di trasporto e stoccaggio specifiche per garantirne la freschezza e la qualità.
3. **Cicli di Produzione Agili:** Le operazioni di produzione devono adattarsi spesso a cicli di allestimento frequenti dovuti alla stagionalità dei prodotti.
4. **Diversificazione dei Prodotti:** Esiste una notevole differenziazione tra i prodotti all'interno della catena, con molte varietà e opzioni disponibili.
5. **Rigorosi Controlli di Qualità:** Data l'importanza della sicurezza alimentare, sono necessari rigorosi controlli di qualità e l'adesione a diverse normative e direttive nazionali e internazionali [32].

Date le sue peculiarità, la sua gestione richiede la cooperazione attiva e il massimo coordinamento della variegata gamma di attori interessati, con l'obiettivo comune di generare vantaggi per ciascun partecipante nel sistema e di soddisfare appieno le necessità dei consumatori. Gli attori chiave della FVC sono rappresentati in Figura 3 e analizzati di seguito:

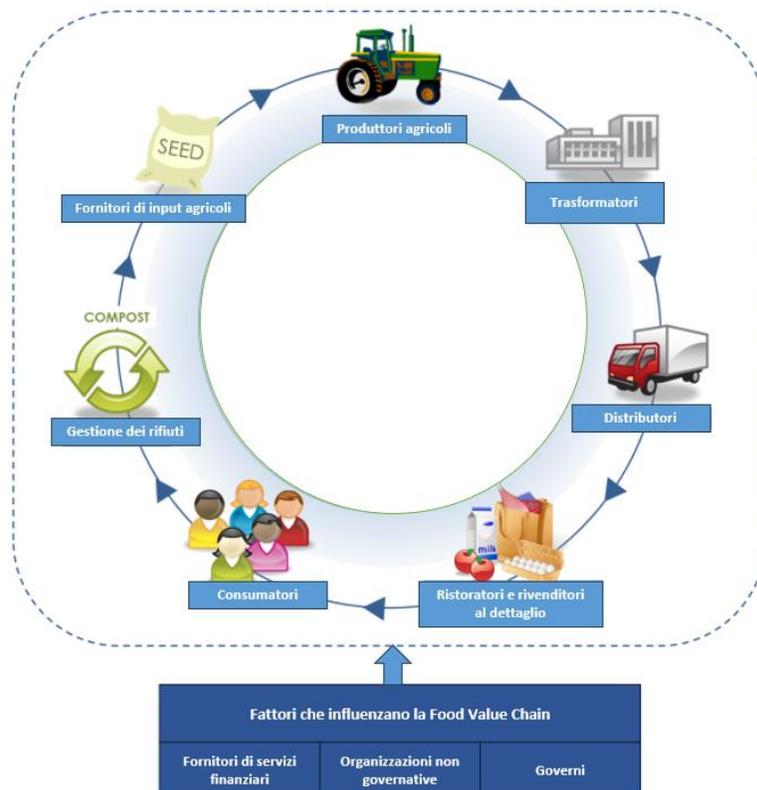


Figura 3: Attori coinvolti nella Food Value Chain

1. **Produttori agricoli:** Questi sono i coltivatori, allevatori e pescatori che producono materie prime alimentari come frutta, verdura, carne, pesce e latticini.
2. **Fornitori di input agricoli:** Questi includono aziende che forniscono fertilizzanti, pesticidi, attrezzature agricole, semi e altre risorse necessarie per la produzione agricola.
3. **Trasformatori:** Questi attori trasformano le materie prime in prodotti alimentari confezionati pronti per la vendita. Le operazioni di trasformazione sono di due tipi: primarie e secondarie. La lavorazione primaria riguarda la trasformazione di materie prime non commestibili in ingredienti alimentari. Questo processo include attività come la pulizia, la rimozione delle bucce, la classificazione e l'imballaggio. Gli ingredienti ottenuti dalla lavorazione primaria possono essere destinati alla vendita al dettaglio o alle fabbriche alimentari per essere utilizzati

come componenti nella lavorazione secondaria. Quest ultima comprende le attività volte a trasformare questi ingredienti in cibi pronti per il consumo. Queste operazioni possono variare dalla macinazione del grano per ottenere farina alla spremitura del succo dalla frutta, dalla produzione di formaggio a partire dal latte alla preparazione di carne macinata.

4. **Distributori e grossisti:** Questi intermediari acquistano grandi quantità di prodotti alimentari dai produttori e li distribuiscono a negozi al dettaglio, ristoranti e altre destinazioni.
5. **Ristoranti e rivenditori al dettaglio:** Questi sono i luoghi in cui i consumatori finali acquistano il cibo. Ciò include ristoranti, supermercati, mercati e negozi specializzati.
6. **Trasportatori e logistica:** Questi operatori si occupano del trasporto dei prodotti alimentari lungo la catena del valore, garantendo che i prodotti raggiungano i punti vendita in modo sicuro e tempestivo.
7. **Autorità di regolamentazione e sicurezza alimentare:** Le agenzie governative e le organizzazioni di regolamentazione svolgono un ruolo importante nel garantire che il cibo sia sicuro per il consumo e rispetti le normative sanitarie.
8. **Consumatori:** I consumatori finali sono un elemento cruciale della catena del valore alimentare, poiché le loro scelte influenzano la domanda di prodotti alimentari e i comportamenti di acquisto.
9. **Organizzazioni non governative (ONG):** Alcune ONG si occupano di questioni legate all'agricoltura sostenibile, alla sicurezza alimentare e alla lotta contro lo spreco alimentare.

10. Fornitori di servizi finanziari: Le istituzioni finanziarie forniscono servizi di prestito e investimento per sostenere le attività di produzione e distribuzione alimentare.

A partire dal prossimo paragrafo e proseguendo fino alla conclusione della tesi, ci concentreremo esclusivamente sulla seconda fase della catena del valore alimentare. Questa fase inizia dopo che le materie prime grezze sono state acquisite dalle aziende di trasformazione e si estende a comprendere l'intero processo di trasformazione e distribuzione.

2.3 Metodologia di progettazione di un sistema di tracciabilità

Da un punto di vista tecnico, le informazioni relative al prodotto e alla sua produzione sono disseminate in vari punti all'interno della catena del valore, ottenute attraverso una serie di mezzi diversi e codificate in vari formati, sfruttando sistemi software di data management e applicazioni differenti. Questa rete intricata di dati è fornita da un vasto numero di partecipanti nella catena, ciascuno con la capacità di influenzare il prodotto finale mantenendo le proprie responsabilità.

Alla luce di questa complessità, la metodologia di progettazione proposta, prevede prima di tutto di costruire un modello di processo aziendale (BPM) per ogni azienda coinvolta. I modelli dei processi aziendali svolgono un ruolo importante nel processo di ingegneria dei requisiti di sviluppo dei sistemi software. I modelli “as-is” aiutano a comprendere il lavoro che deve essere supportato dai sistemi informativi [33].

Bisogna quindi analizzare i processi coinvolti in ogni fase “dalla fattoria alla tavola”. Per ciascuno di essi è necessario interrogarsi su quali dati sono necessari per garantire la tracciabilità e quale divisione aziendale è responsabile della generazione di questi dati.

In seguito si esaminerà il set di sensori utili alla raccolta dei dati informativi per ogni processo.

Un sistema di tracciabilità efficiente sarà in grado di monitorare i dati all'interno di ogni singola azienda coinvolta (livello intraaziendale) e allo stesso tempo estenderà la sua potente rete di monitoraggio lungo tutta la filiera (livello interaziendale). La definizione di queste due tipologie di tracciabilità è stata descritta in [34] da Corallo et al. Questa doppia capacità di sorveglianza, sia interna che esterna, rappresenta un vantaggio significativo per ottimizzare le operazioni aziendali e rafforzare la fiducia dei clienti e dei partner commerciali. È chiaro che la tracciabilità di filiera è intimamente legata alle relazioni tra le diverse entità coinvolte e richiede la loro partecipazione attiva e una gestione coordinata. Quindi, è importante inizialmente esaminare e comprendere il livello di tracciabilità all'interno di ciascuna azienda, per poi estendere questa comprensione al livello più ampio della filiera integrando i sistemi di tutte le aziende coinvolte.

2.4 Concetto di Business Modeling

La modellazione dei processi aziendali viene utilizzata principalmente per il miglioramento dei processi aziendali (BPI) e per la loro reingegnerizzazione (BPR) [35]. *Il processo aziendale è definito come un ordine specifico di eventi e attività nel tempo e nello spazio, con un inizio e una fine chiari e input e output chiaramente definiti. Un modello di processo è considerato una rappresentazione di uno o più processi e delle relative associazioni eseguiti da un'impresa. La modellazione dei processi rappresenta un meccanismo per descrivere lo stato attuale o futuro di un processo aziendale (Cappemini 2004).*

In questo contesto, i processi e le attività aziendali sono trattati come elementi che forniscono servizi e li ricevono da altri elementi all'interno dell'azienda. Questa

interazione tra i processi aziendali crea una rete di processi interconnessi, in cui si svolgono le "conversazioni" [36]. Considerare i processi come un insieme di nodi interconnessi, porta alla modellazione di architetture integrate che consentono alle aziende di creare diagrammi in una varietà di visualizzazioni. Gli strumenti di modellazione esistenti sono variegati (ADONIS, ARIS, Arista Flow, BizAgi, BonitaSoft, CPN Tool, Enterprise Architect, Greta, BPMS, MS Visio, Oryx ecc...), un'accurata valutazione e analisi comparativa è consultabile in [37]. Questi strumenti semplificano l'applicazione dei metodi di modellazione, consentendo lo sviluppo sistematico di modelli che rispettano le regole e i requisiti specifici di ciascun approccio di modellazione [38].

2.5 Modellazione proposta

Quello che ci interessa analizzare è il modello generico per la tracciabilità dell'agroalimentare. In questo paragrafo cercheremo di dare ai progettisti delle linee guida che possono essere di supporto ad ogni caso d'uso specifico, per l'identificazione delle fasi da certificare, la mappatura dei processi relativi alle attività produttive da tracciare e l'individuazione dei dati da inserire in blockchain. Nel paragrafo 2.6 invece, forniremo un'overview della soluzione finale.

Le aziende nel settore agroalimentare possono essere organizzate in molte forme diverse, ciascuna con le proprie caratteristiche uniche. Queste organizzazioni variano a seconda delle dimensioni aziendali, della natura del loro business e delle strategie adottate. È compito dei progettisti comprendere a pieno e da vicino l'azienda per definire correttamente il punto di arrivo e il risultato finale che deve essere raggiunto, solo in questo modo si riuscirà ad ottenere un'esatta programmazione. Questi passaggi nella pratica, prevederanno la stretta collaborazione di esperti nell'ambito della tecnologia ed esperti dell'agroalimentare, primo tra tutti il partner di riferimento. Sarà

necessario condurre interviste ai diversi operatori ponendo domande di dettaglio circa ogni singola attività produttiva e consultando i documenti aziendali.

I metodi di modellazione proposti di seguito si basano sui principi dell'architettura integrata ARIS. Questa soddisfa il nostro iniziale obiettivo, ossia sviluppare un modello di processo aziendale contenente tutte le funzionalità di base per descrivere i processi aziendali. Il risultato è un modello altamente complesso, che viene scomposto in viste individuali in modo da ridurre la complessità. Le relazioni tra le viste vengono incorporate in una fase finale e combinate per formare una panoramica complessiva delle catene di processo.

Il risultato finale che ci si aspetta dalla modellazione è quello mostrato in Figura 4.

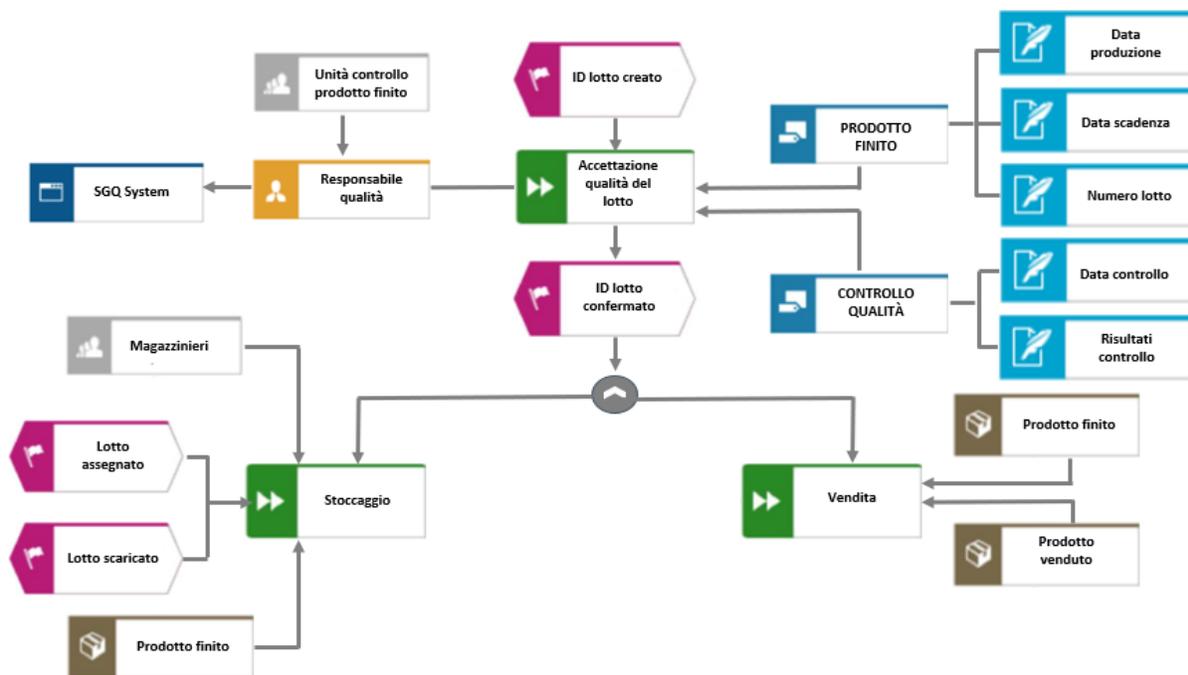


Figura 4: Esempio di modello di processo aziendale

In questo esempio, il processo viene attivato dall'evento "ID lotto creato". A sua volta, questo evento attiva la funzione "accettazione qualità del lotto". Affinché questa procedura possa essere eseguita, è necessario prima descrivere lo stato dell'ambiente di processo rilevante. Si tratta in particolare dei dati relativi al prodotto (data di

produzione, data di scadenza, numero lotto, ecc...) e al controllo qualità effettuato (data controllo, risultati controllo). Le procedure vengono eseguite dai responsabili della qualità che possono essere assegnati ai dipartimenti. I responsabili utilizzano risorse informatiche specifiche (sistemi SGQ, VSM, ERP...) per supportare le loro operazioni.

Una volta completata la procedura “accettazione qualità lotto”, si verifica l’evento “ID lotto confermato” che a sua volta può attivare altre procedure, come “stoccaggio” e “vendita”. L’esecuzione della funzione “accettazione qualità del lotto” ha quindi generato il “prodotto finito” pronto per la vendita, che verrà quindi utilizzato, in combinazione con risorse umane e tecniche, come input per l’elaborazione delle procedure successive. Dopo la vendita, il “prodotto finito” è in un nuovo stato “prodotto venduto”.

2.5.1 Viste descrittive

Per ridurre la complessità della modellazione come abbiamo già accennato, il contesto generale inizialmente è scomposto in singole viste. Dopo averlo scomposto, sarà facile ricomporre il puzzle per avere per ciascun processo il quadro completo di tutte le informazioni, le relazioni e le risorse necessarie al suo svolgimento. Ciascuna vista sarà modellizzata mediante diagrammi e regole differenti.

Come schematizzato in Figura 5, esistono cinque visualizzazioni: Organizzativa, Funzionale, Prodotto, Dati e Processo.

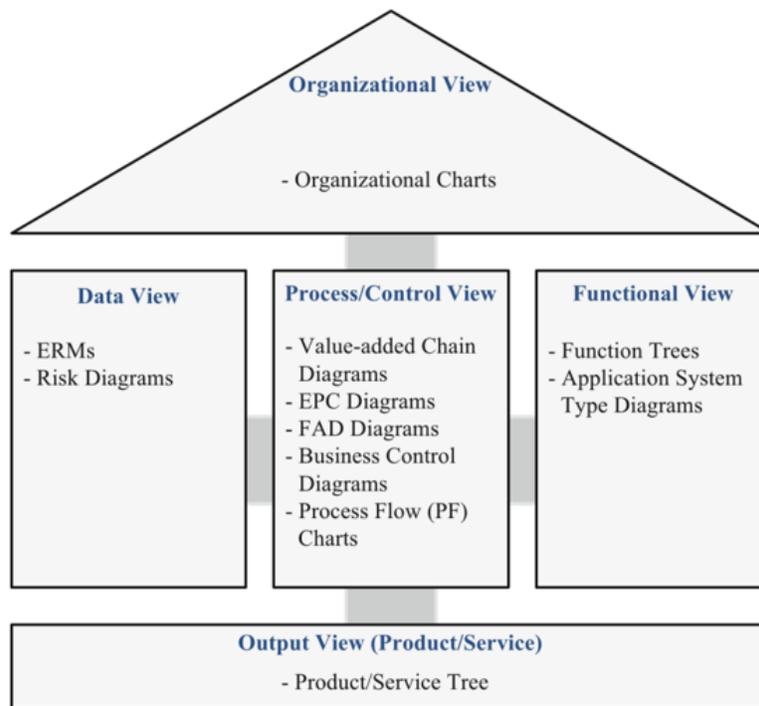


Figura 5: Le differenti viste di "ARIS House"[39]

2.5.2 Vista Funzioni

I processi aziendali sono scomposti in funzioni e sotto-funzioni. Questa scomposizione gerarchica viene presentata con l'uso degli alberi delle funzioni (esempio in Figura 6). La gerarchia può essere definita su vari livelli: le funzioni elementari rappresentano il livello più basso senza possibilità di ulteriore suddivisione, il processo aziendale invece, si pone al livello più alto di aggregazione e rappresenta quindi una funzione complessa che è stata successivamente dettagliata. Le funzioni possono essere raggruppate all'interno degli alberi delle funzioni in base a vari criteri, tra cui l'elaborazione dello stesso oggetto, l'appartenenza ai processi o la similarità delle operazioni svolte.

Ciascuna funzione aziendale è supportata da applicazioni IT che sono modellate negli "Application System Type Diagrams". Questi diagrammi definiscono una libreria di sistemi IT che vengono utilizzati all'interno dell'azienda. Un esempio è stato fornito in Figura 7.

Ogni sistema applicativo è costituito da vari moduli, per cui, sulla scia dell'albero delle funzioni, può essere definita anche la gerarchia dei sistemi applicativi stessi. Questi saranno scomposti in moduli, i quali, a loro volta, potranno essere suddivisi in diversi tipi di funzioni IT.

Il nostro scopo principale, come abbiamo ampiamente descritto, consiste nel modellare ogni azienda facente parte della catena di approvvigionamento alimentare. In questo modo sarà più semplice per i progettisti definire i requisiti che il sistema di tracciamento dei dati basato su blockchain dovrà rispettare. Uno degli obiettivi che ci si pone, è quello di agevolare la comunicazione tra i sistemi IT di ogni azienda. Pertanto, diventa particolarmente interessante creare un "Application System Type Diagram" per ogni stakeholder, allo scopo di generare un diagramma che schematizzi l'intera libreria dei sistemi applicativi che si vogliono far "comunicare". Il risultato che si otterrà sarà simile a quello presentato in Figura 8.

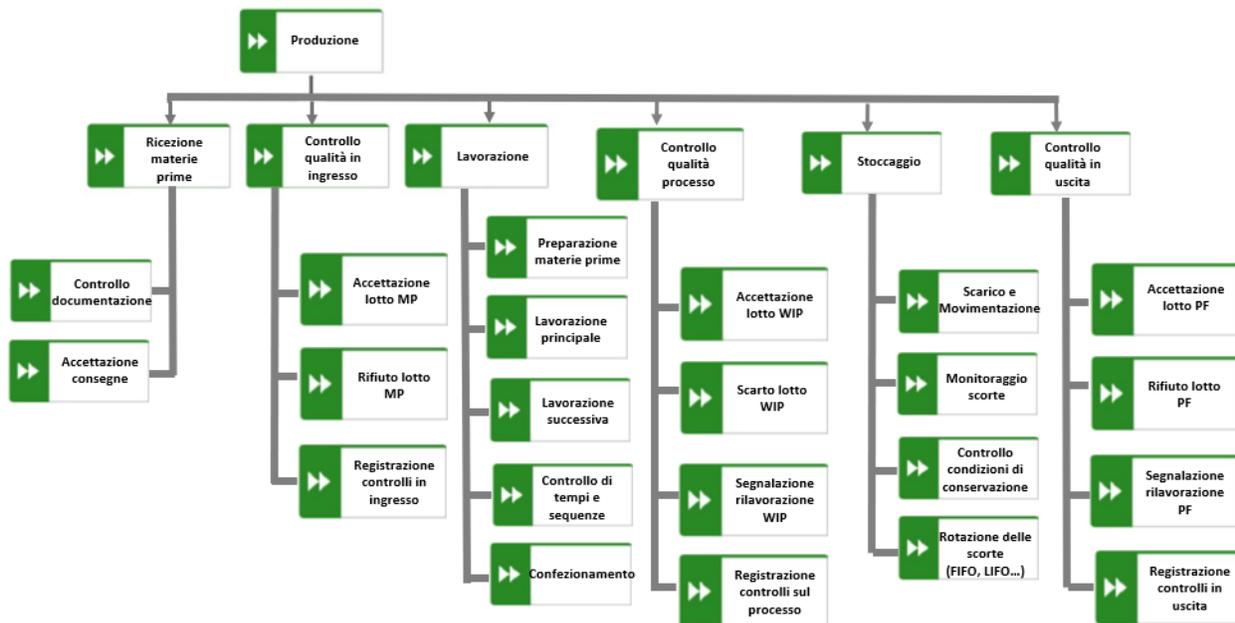


Figura 6: Esempio di albero delle funzioni

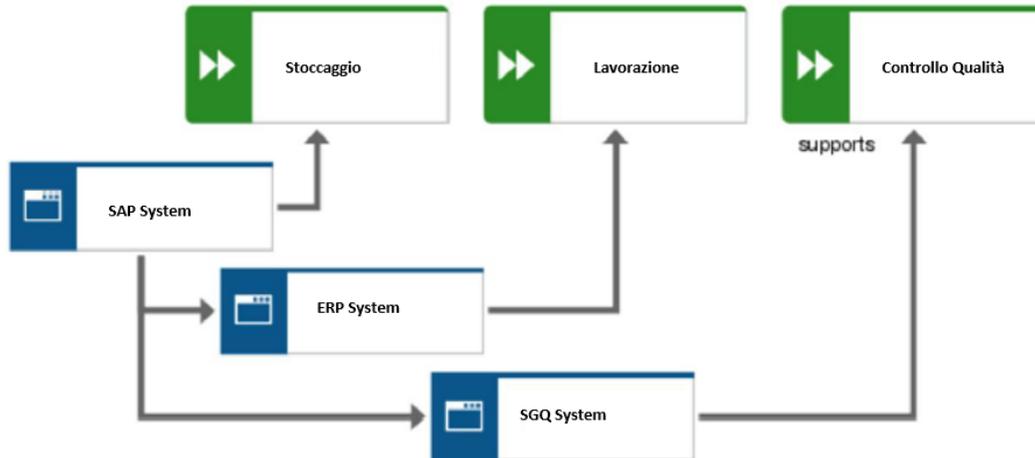


Figura 7: Esempio di assegnazione delle funzioni agli Application Systems

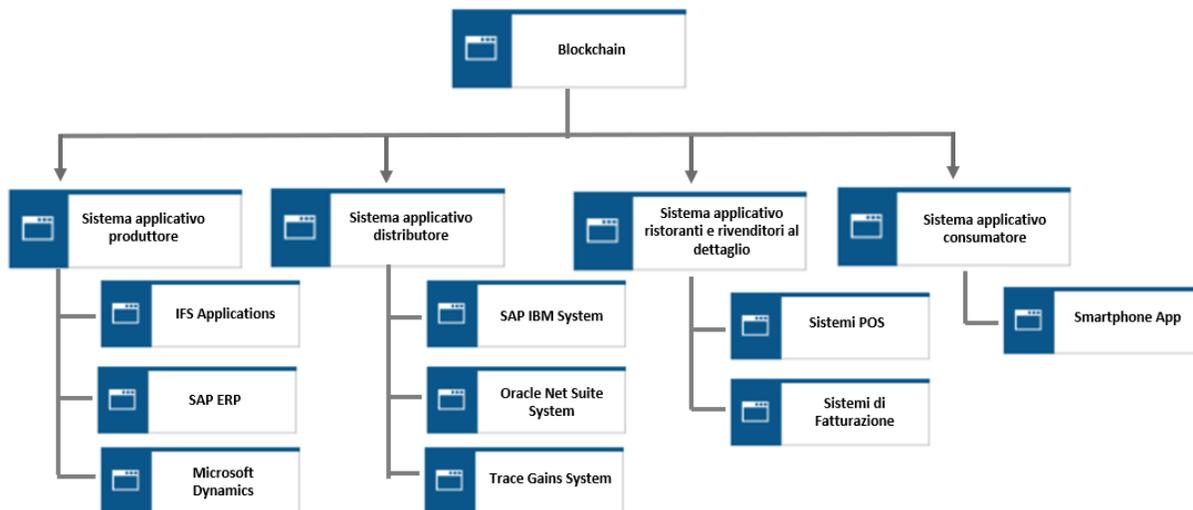


Figura 8: Esempio di Application System Type Diagrams per l'intera FVC

2.5.3 Vista Organizzazione

È importante definire come l'azienda coinvolta nel processo di tracciabilità sia organizzata. La struttura organizzativa di un'azienda definisce come le responsabilità, le competenze e le relazioni tra le diverse unità organizzative sono strutturate. Questa struttura può essere funzionale, divisionale, matriciale, orizzontale, verticale, ibrida e altre varianti. Spesso, le organizzazioni possono anche evolvere e cambiare la loro

struttura organizzativa nel tempo in risposta alle mutevoli esigenze del mercato e dell'ambiente aziendale. La modellazione dei processi deve riflettere chiaramente questa struttura, le sue modifiche e le relazioni gerarchiche tra unità organizzative e tra i dipendenti dell'organizzazione. Gli organigrammi, come quello esemplificativo in Figura 9, sono uno strumento utile per rappresentare la struttura organizzativa in modo visuale e gerarchico. Le unità organizzative sono gli esecutori delle funzioni che devono essere svolte per il raggiungimento degli obiettivi aziendali. Queste sono composte da persone fisiche, ciascuna con il proprio ruolo e posizione all'interno dell'azienda. L'utilizzo di questi tipi di oggetto consente di rappresentare le regole generali dell'azienda a cui ci si riferisce. Pertanto, nelle catene di processi, è possibile definire che solo determinati ruoli possono svolgere una funzione o avere accesso ad un oggetto informativo.

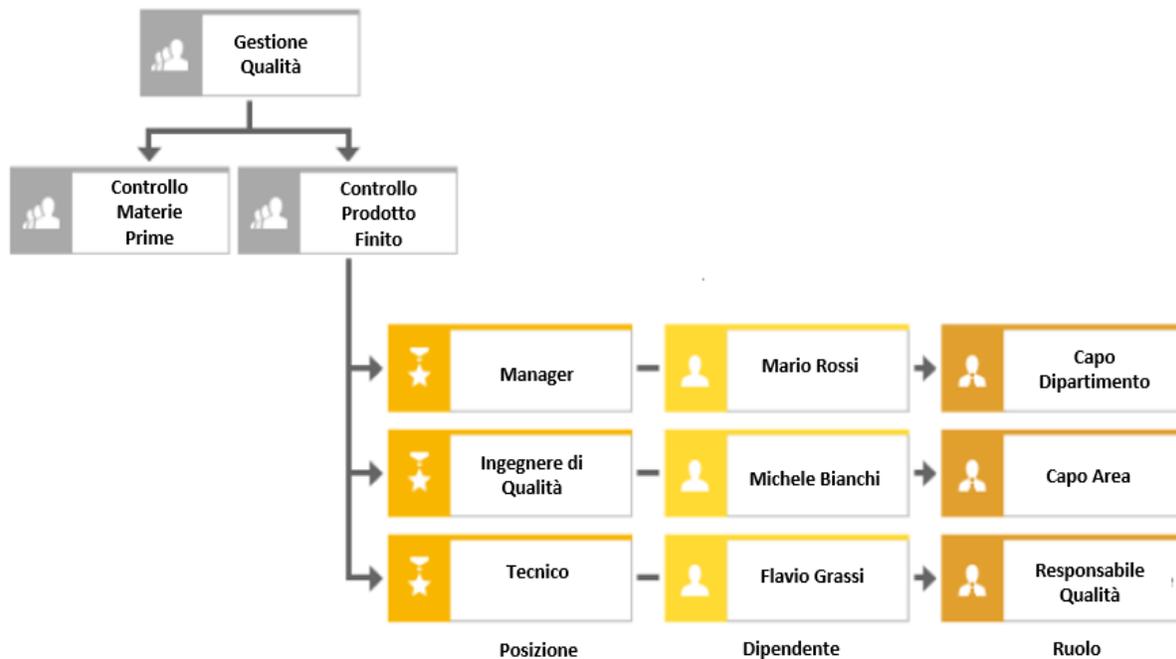


Figura 9: Esempio di organigramma

2.5.4 Vista Dati

L'elenco e la gerarchia delle applicazioni IT sono modellati nei diagrammi "Application System Type" della vista funzionale, mentre i dati più importanti utilizzati e scambiati tra i sistemi IT sono modellati attraverso gli "Entity Relationship Management Diagrams" (ERM) della vista dati. Il modello aiuta a definire ed organizzare le informazioni all'interno dell'azienda. Distingue tra entità, attributi, relazioni e cardinalità. Le "entità" sono gli oggetti o i concetti rilevanti all'interno dell'ambito aziendale. Questi possono essere persone, oggetti fisici, concetti astratti o eventi. Gli "attributi" definiscono le caratteristiche specifiche di ciascuna entità. Le "relazioni" indicano come le diverse entità sono connesse tra loro. Le "cardinalità" specificano quante istanze di un'entità possono essere collegate a quante istanze dell'altra entità. Questo ci dice se una relazione è uno-a-uno, uno-a-molti o molti-a-molti.



Figura 10: Esempio di diagramma ERM

In Figura 10 un esempio di modellazione dati nel contesto agroalimentare. L'entità "materia prima" indica i vari prodotti alimentari in ingresso in un'azienda di lavorazione (grano, frutta, verdura ecc...), questi sono correlati all'entità "fornitore" (allevatore, coltivatore ecc...) con cardinalità "uno-a-molti", poiché un fornitore potrebbe fornire molti tipi di prodotti. Stessa logica nella relazione che lega "Cliente" (supermercato, ristorante ecc...) ad "Ordine". La relazione tra "magazzino" e "prodotto finito" (succo di frutta, marmellata, hamburger, olio, vino ecc...) è rappresentata con cardinalità "multi-a-multi" perché molti prodotti possono essere stoccati in molti magazzini. Di nuovo, l'entità "fornitore" è associata con cardinalità uno-a-molti all'"allevamento/coltivazione" in cui è coinvolto (intese come azienda agricola, quindi gli attributi saranno identificativi dell'azienda di fornitura), infine l'entità "Controllo qualità" è associata ad un unico "prodotto finito", viceversa ogni "prodotto finito" può avere molteplici "controllo qualità".

Le entità ricoprono maggior livello di dettaglio grazie agli attributi. Questi definiscono le caratteristiche specifiche di ciascuna entità. Il risultato che si otterrebbe sarebbe quello mostrato nella figura 11. Per l'entità "Prodotto finito", gli attributi potrebbero includere "ID prodotto", "nome", "data di scadenza", "data di produzione", "allergeni", "stato", "numero lotto" e "valori nutrizionali"; per l'entità "controllo qualità", potrebbero esserci "ID controllo", "data controllo", "tipo controllo" e "risultati controllo".

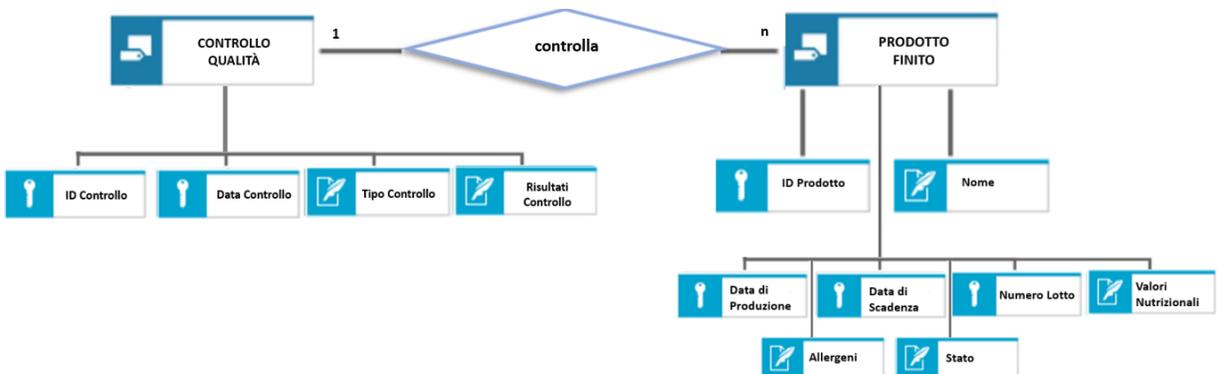


Figura 11: Esempio di ERM per il controllo qualità

Ciascuna entità può essere associata all' Application System a cui fa riferimento, in modo da comprendere subito le fonti di tracciabilità del dato. Nel caso dei controlli qualità per esempio, tutti gli attributi di Figura 11 saranno gestiti e archiviati all'interno di un SCQ System, così per i dati riguardanti il prodotto finito che potrebbero essere supportati da un sistema SAP.

2.5.5 Vista Prodotto

Ogni azienda produce prodotti o servizi che vengono generati e forniti lungo gli sviluppi della catena del valore. Una gerarchia dei prodotti e sottoprodotti e la loro evoluzione, dalle risorse (input) agli output lungo il percorso, sono presentati in modo approfondito nel diagramma ad albero del prodotto/servizio. Il software ARIS che è stato utilizzato per l'analisi, fornisce anche altri tipi di modelli utilizzabili: (i) diagramma di scambio, (ii) diagramma di allocazione, (iii) matrice di selezione. Concentreremo la nostra attenzione sul terzo modello menzionato. Nella matrice di selezione ci si focalizza su un'unità organizzativa e sui prodotti di sua responsabilità. Inoltre si riescono a mettere in relazione i prodotti e le funzioni ad essi assegnate. La matrice di selezione costituisce un'efficiente chiave di lettura per una migliore comprensione ed analisi di organigrammi, alberi di prodotto e flusso di processi e dati rilevanti per la loro produzione. La Figura 12 ne mostra un esempio.

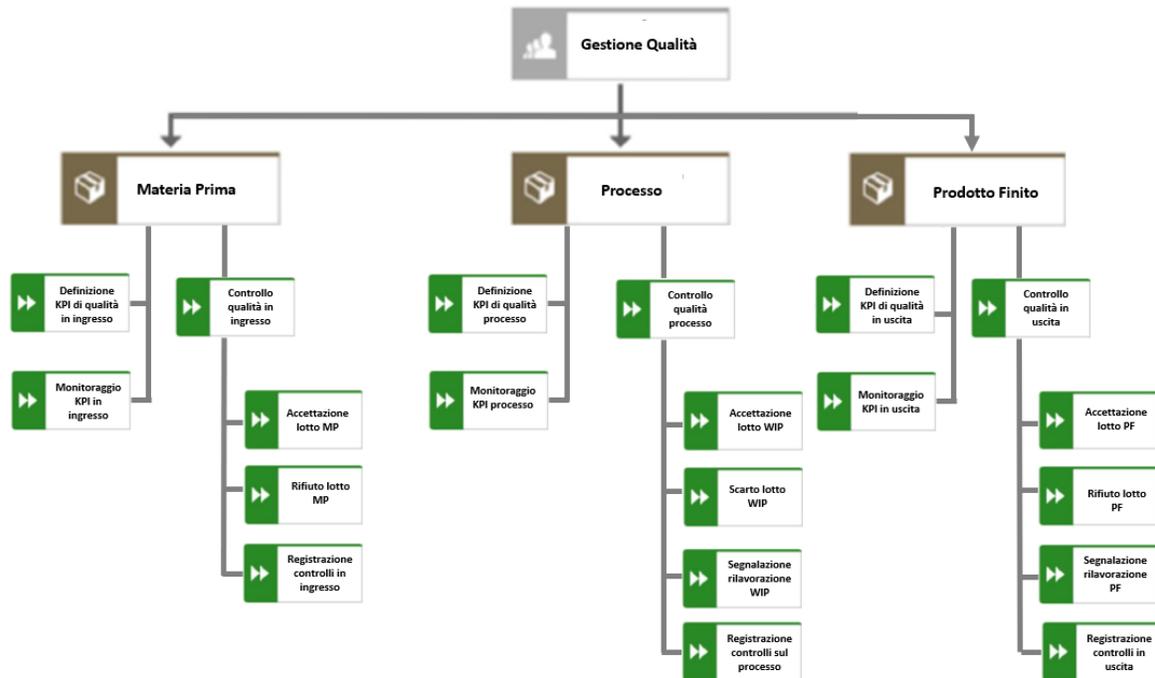


Figura 12: Esempio di matrice di selezione del prodotto

La figura si concentra su uno degli aspetti essenziali del processo di produzione di prodotti agroalimentari: il controllo qualità. L'unità organizzativa di competenza è la "Gestione Qualità", che è responsabile del controllo della "materia prima", del "prodotto finito" e del "processo". Quanto rappresentato costituisce un esempio di come le unità organizzative possano essere associate ai prodotti. Le funzioni imputabili al prodotto, che verranno svolte da ciascun attore nella catena di approvvigionamento alimentare, saranno diverse in base alla tipologia di prodotto, alla tipologia di controlli e ai KPI da rispettare.

2.5.6 Vista Processo

A questo punto non ci resta che approfondire l'ultima delle viste: quella del processo. Ad un livello più alto troviamo i diagrammi della catena del valore (VCD) che definiscono i processi aziendali principali e le loro connessioni nella catena del valore. Queste funzioni

possono essere collegate tra loro come una sequenza di funzioni e formare così una catena di valore aggiunto.

Per modellizzare i processi in modo chiaro e coerente in modo tale che anche organizzazioni diverse possano comunicare i propri processi sia interni che esterni, il BPMN è nato come uno standard ampiamente riconosciuto. Il BPMN, acronimo di Business Process Modeling and Notation, è stato sviluppato dall'Object Management Group (OMG), un consorzio di organizzazioni noto per aver creato altri importanti standard di modellazione come UML (Unified Modeling Language). La sua adozione è divenuta essenziale in un contesto in cui le interazioni e le transazioni tra aziende sono diventate sempre più complesse.

La costruzione di un diagramma BPMN coinvolge l'uso di simboli e convenzioni specifiche. I principali elementi di un diagramma BPMN includono:

1. **Eventi:** Gli eventi rappresentano trigger che danno il via o influenzano il flusso del processo. Possono essere eventi di innesco, eventi intermedi o eventi finali.
2. **Attività:** Le attività rappresentano le azioni o i compiti all'interno del processo. Esistono due tipi principali di attività: attività utente (eseguite da un utente) e attività automatiche (eseguite da un sistema).
3. **Gateway:** I gateway determinano le condizioni di ramificazione o di convergenza nel processo.
4. **Flussi di sequenza:** I flussi di sequenza collegano gli elementi del processo e definiscono l'ordine delle attività e degli eventi. Essi mostrano come i dati e il controllo si spostano attraverso il processo.

Il BPMN definisce tre classi di processi aziendali. Quelli “privati”, eseguiti esclusivamente all'interno di un'organizzazione specifica, spesso noti come processi di flusso di lavoro o Business Process Management (BPM). Questi processi solitamente includono attività

quotidiane, procedure interne, flussi di lavoro e operazioni che avvengono all'interno dell'azienda senza coinvolgere direttamente partner esterni. Ad esempio, la contabilità interna o la gestione delle scorte possono essere processi aziendali privati.

Quelli “astratti” rappresentano interazioni e flussi di lavoro ad alto livello tra diverse organizzazioni o entità aziendali. Non dettagliano gli aspetti operativi interni delle singole organizzazioni coinvolte, ma si concentrano sullo scambio di informazioni o servizi tra di esse. L'obiettivo è facilitare la comprensione di come le diverse organizzazioni collaborino ad un livello concettuale.

I cosiddetti “processi di collaborazione” invece, sono più specifici e dettagliati rispetto ai precedenti. Si concentrano sul "come" le interazioni avvengono, dettagliando le sequenze di attività e gli scambi di messaggi tra le entità coinvolte. Ad esempio, un processo di collaborazione potrebbe includere le fasi specifiche per la creazione, la conferma e l'evasione di ordini tra un produttore, un distributore e un rivenditore.

Per garantire che i diagrammi siano efficaci, è importante seguire linee guida di modellazione, come mantenere la semplicità, utilizzare nomi chiari per gli elementi, sottolineare l'orientamento del flusso, documentare dettagli e coinvolgere gli stakeholder chiave.

Per arricchire le informazioni all'interno di un BPMN entra in gioco il Function Allocation Diagram (FAD) che ha generalmente lo scopo di illustrare, per ogni fase coinvolta nel processo, l'allocazione delle funzioni alle unità organizzative o ai ruoli all'interno di un processo. In questo modo processi più complessi vengono decomposti e descritti autonomamente. Per rendere il FAD più informativo, è possibile indicare anche i flussi di informazioni tra le funzioni. Questi rappresentano lo scambio di dati tra diverse funzioni. Un FAD collega inoltre un'attività con vari altri oggetti di modellazione provenienti dalle diverse viste (come rischi, risorse, applicazioni software o documenti).

Nella Figura 13, è presentato un esempio di combinazione dei due modelli. Al fine di agevolare la comprensione visuale, come già evidenziato nei paragrafi precedenti, è stato considerato un unico processo interno, quello del controllo di qualità del prodotto finito. All'interno di questo processo sono state integrate informazioni generalizzate. Tuttavia, è fondamentale notare che queste informazioni dovrebbero essere necessariamente dettagliate e personalizzate quando si farà uso del modello non solo come mero strumento di descrizione ed esposizione dei concetti di modellazione, bensì come strumento effettivo per modellare un contesto reale nell'ambito specifico dell'industria agroalimentare.

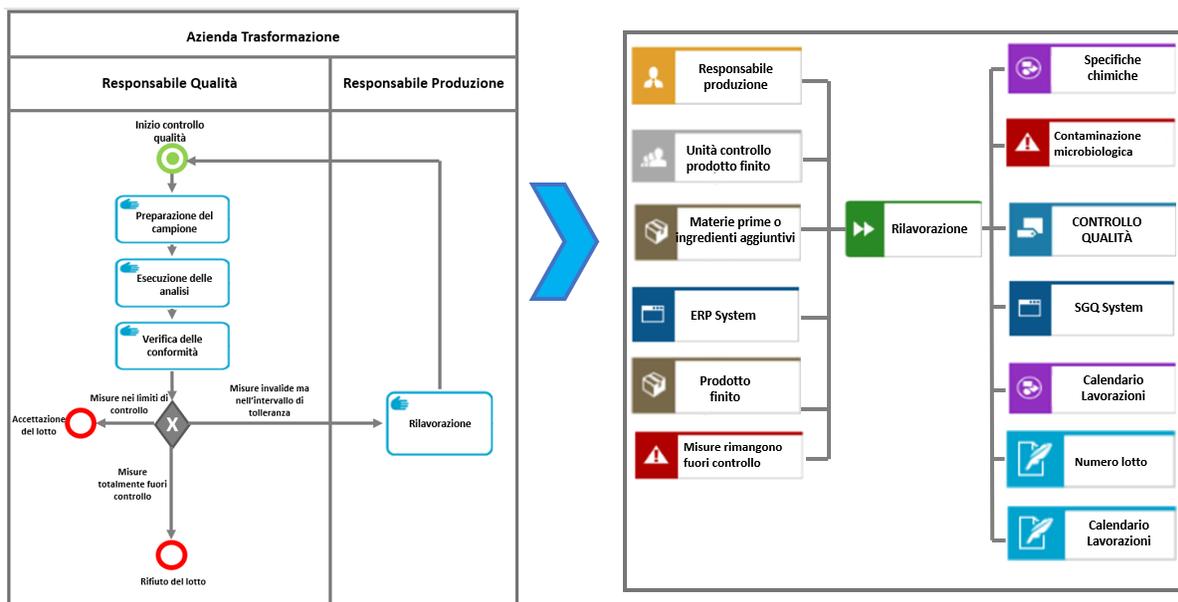


Figura 13: Esempio di BPMN & FAD

Infine, un altro modello interessante è il “Business Control Diagram” in cui ogni rischio è correlato alla rispettiva soluzione.

È giusto evidenziare che il software ARIS preso in considerazione, propone una vasta gamma di diagrammi per modellare i diversi aspetti dell'organizzazione aziendale. Tuttavia, nel contesto del presente capitolo, abbiamo circoscritto la nostra attenzione esclusivamente a quelli ritenuti intrinsecamente connessi con gli obiettivi prefissati.

2.6 Diagramma UML

Come abbiamo anticipato nel paragrafo 2.5, una volta rappresentate tutte le viste sopra descritte, le relazioni tra queste vengono incorporate e combinate per formare l'architettura integrata delle catene di processo. Si arriverebbe pertanto alla visualizzazione esaminata in Figura 4.

In modo speculare, si potrebbero ampliare i confini di osservazione mettendo in relazione la modellazione di aziende differenti appartenenti alla stessa FVC. La registrazione dettagliata dei processi integrati di tutti gli stakeholder coinvolti nella filiera, potrebbe portare ad un allineamento strategico degli stessi, soprattutto in questo caso che è composto da molte aziende [40].

I progettisti saranno in grado di acquisire una comprensione esaustiva dei collegamenti esistenti tra le attività, le funzioni, le risorse, i dati, i sistemi, i rischi e le responsabilità. Avranno accesso a tutte le informazioni necessarie per implementare inizialmente un sistema di tracciabilità efficace all'interno di ciascuna organizzazione e successivamente estenderlo alla complessa rete di tracciabilità interaziendale, che copre l'intera FVC. Ciò renderà notevolmente più agevole l'implementazione di un sistema basato su blockchain, in quanto sarà chiara la definizione dei dati da archiviare, l'identificazione di quelli che richiedono crittografia, la determinazione dei responsabili per l'archiviazione e la selezione dei sistemi applicativi appropriati da utilizzare come fonti informative.

A questo punto quindi, è più facile ed intuitivo sviluppare un modello di dominio UML simile a quello recentemente proposto durante la "18° Conferenza Iberica sui Sistemi e le Tecnologie dell'Informazione (CISTI)" [41] e raffigurato in Figura 14. Questo modello mostra tutti i dati che potrebbero essere contenuti in blockchain e le relazioni tra essi.

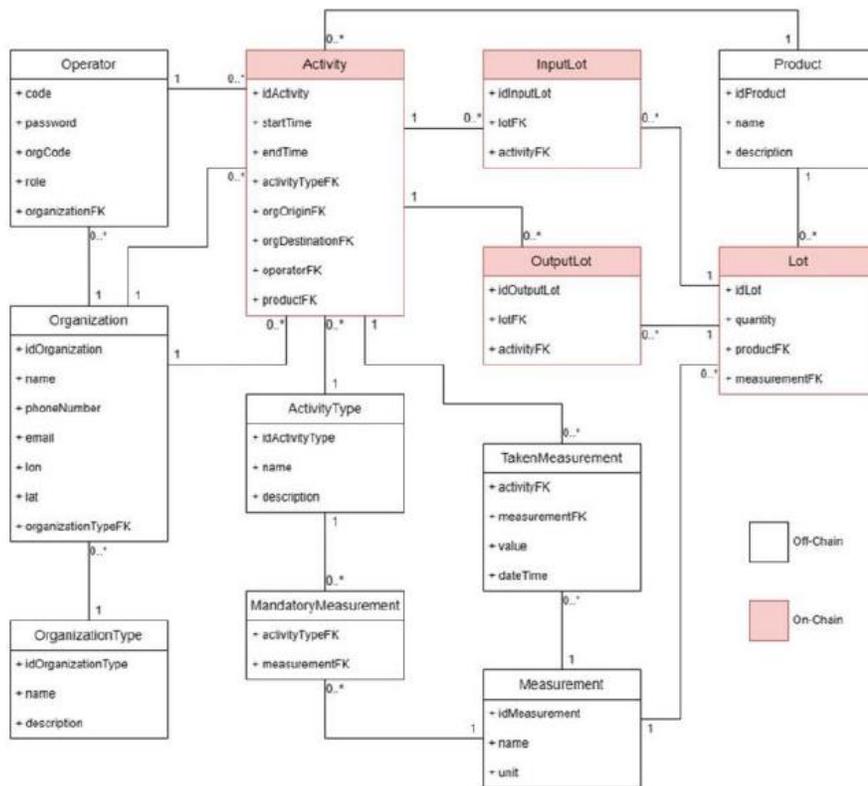


Figura 14: Diagramma UML per la tracciabilità [41]

Affinché la piattaforma funzioni, è necessario che alcuni dati rimangano crittografati per motivi di privacy aziendale, altri invece, sulla base della tracciabilità volontaria, potranno essere resi disponibili a chiunque voglia consultarli e saranno questi il valore aggiunto del processo di certificazione in blockchain.

Gli autori hanno proposto una metodologia “blockchain + database” e infatti hanno differenziato le classi da archiviare in blockchain (on-chain) e quelle da archiviare in un database (off-chain) mediante colori diversi (bianco e rosa).

Sono state individuate 12 diverse classi utilizzate nel diagramma e di seguito descritte:

- **Organizzazione, Tipo di organizzazione e Operatore:** l' “Organizzazione” può compiere da zero a molte attività lungo la catena. È definita dal codice identificativo e tutti i dati anagrafici che ne contraddistinguono la sua identità. La classe “operatore” appartiene ad una sola “organizzazione e può svolgere più “attività”. Anche il dipendente avrà un

proprio codice identificativo e una password di accesso, sarà inoltre descritto dall'attributo "ruolo" che ne indica le responsabilità. Infine la classe "OrganizationType" definisce il campo di specializzazione dell'organizzazione.

- **Prodotto e lotto**: il prodotto rappresenta una categoria di prodotto che può essere utilizzato nel nostro sistema ed è definito da un identificativo, dal nome e dalla descrizione. Un lotto può contenere una sola tipologia di prodotto, mentre prodotti della stessa tipologia possono essere associati a lotti diversi. Le caratteristiche descrittive del prodotto potranno essere archiviate nel database, mentre le indicazioni relative al lotto devono essere tracciate in blockchain.

- **"Tipo di Attività", "Misurazione", "Misurazione Obbligatoria" e "Misurazione effettuata"** : Una "Tipologia Attività" potrebbe avere una relazione di associazione con una o più "Misurazioni Obbligatorie". Questa associazione indica che una "Tipologia Attività" può richiedere la registrazione di determinate "Misurazioni Obbligatorie". Ad esempio, se una tipologia di attività è "Controllo di Qualità", potrebbe richiedere misurazioni specifiche come "Temperatura" o "pH" come obbligatorie. "Misurazione Obbligatoria" potrebbe avere una relazione di associazione con "Misurazione" o "Tipologia Misurazione". Questa associazione indica che ogni "Misurazione Obbligatoria" è associata a una specifica "Tipologia Misurazione". La "Tipologia Misurazione" potrebbe definire ulteriori dettagli sulla misurazione, come l'unità di misura o altri attributi. "Tipologia Misurazione" potrebbe avere una relazione di associazione con "Misurazione Effettuata". Questa associazione indica che le "Misurazioni" sono effettivamente registrate e possono essere collegate alle relative "Misurazioni Effettuate". Ogni "Misurazione Effettuata" rappresenterebbe una specifica istanza di una "Misurazione" con i dati reali, come valore, data e ora.

- **"Lotto Input" e "Lotto Output"**: una "Attività" potrebbe avere una relazione di associazione con uno o più "Lotti Input". Questa associazione indica che un'attività richiede l'uso di uno o più lotti di input come parte del suo processo. Ad esempio, se

un'attività è "Preparazione del prodotto", potrebbe richiedere l'uso di diversi lotti di materia prima. In modo simile, una "Attività" potrebbe avere una relazione di associazione con uno o più "Lotti Output". Questa associazione indica che un'attività produce uno o più lotti di output come risultato. Ad esempio, se un'attività è "Confezionamento del prodotto", potrebbe produrre uno o più lotti di prodotto finito.

2.7 Risultato atteso per un sistema di tracciabilità basato su blockchain

Dopo aver considerato tutti questi aspetti di modellazione e ricavati quindi i requisiti che il sistema di tracciabilità dovrebbe soddisfare, grazie alla collaborazione di informatici esperti nel settore, si avrebbero tutti gli strumenti per poter sviluppare un'architettura come quella riportata in Figura 15.

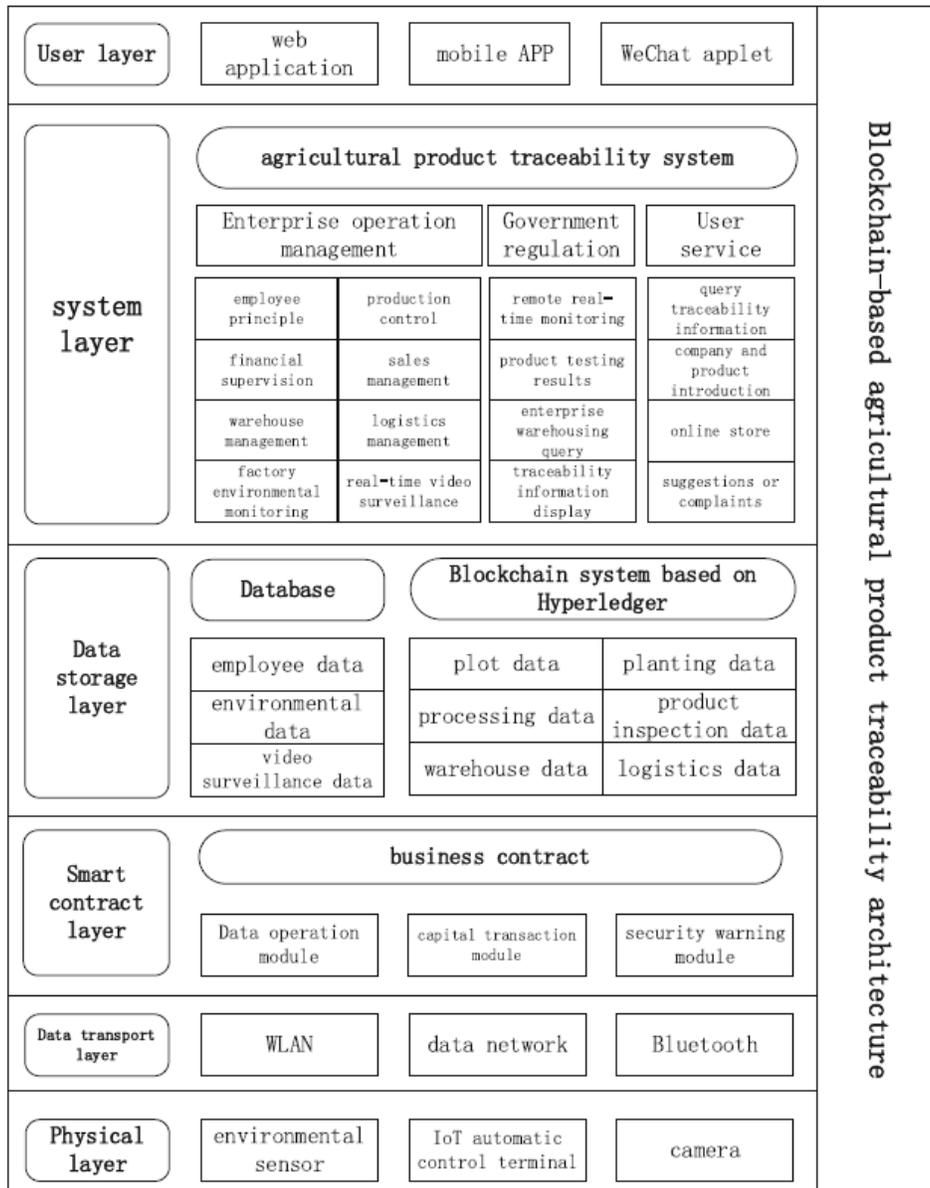


Figura 15: Architettura del sistema di tracciabilità basato su BCT [42]

L'architettura di un sistema di tracciabilità basato su tecnologia blockchain, è divisa in cinque livelli:

Il **livello utente** rappresenta l'interfaccia tra utente e sistema. Gli utenti, che possono essere tutte le parti interessate come coltivatore alimentare, trasformatore, produttore, distributore, regolatore e cliente, comunicano con il livello di sistema. Questa interfaccia di alto livello, consente un'integrazione semplice ed intuitiva con i sistemi software del livello superiore.

Il **livello di sistema** può essere un software di gestione operativa, un software di supervisione governativa o un software di assistenza clienti. Il software di gestione delle operazioni aziendali è destinato alla gestione delle attività produttive dell'azienda, compresa la gestione dei dipendenti, il controllo dei processi produttivi, la supervisione dei dettagli finanziari, la gestione della situazione di stoccaggio e la consultazione della logistica e del trasporto dei prodotti. Il software di supervisione governativa è quello utilizzato dal governo per supervisionare le attività produttive delle imprese. Il software di assistenza clienti è il livello alla base delle interazioni tra azienda e cliente. Il livello di sistema rappresenta un componente di controllo. È responsabile della trasformazione degli input di alto livello, inviati dall'utente tramite l'interfaccia, e veicola le informazioni tra l'utente e il Data storage Layer.

Il **Data Storage Layer** è responsabile dell'archiviazione dei dati. Il componente principale di questo livello è la blockchain che contiene tutta la logica aziendale implementata attraverso lo **Smart Contract Layer** sulla blockchain. La complessità di questo modulo varierà in base alla blockchain selezionata. Per evitare il sovraccarico della blockchain è possibile supportare l'archiviazione tramite un database che può gestire le informazioni che non sono indispensabili alla tracciabilità. In blockchain verranno quindi archiviati i dati di ispezione dei prodotti, dati logistici e dati chiave nel processo di lavorazione e produzione.

Il **Data Transport Layer** è responsabile di comunicare ai livelli più alti i dati rilevati dai dispositivi hardware del **Physical Layer**. La sola condizione preliminare è che tutti i partecipanti, inclusi i dispositivi IoT, siano utenti registrati sulla blockchain sottostante, il che significa che dispongano delle corrette coppie di chiavi pubbliche/private per firmare digitalmente ciascuna operazione sul registro distribuito.

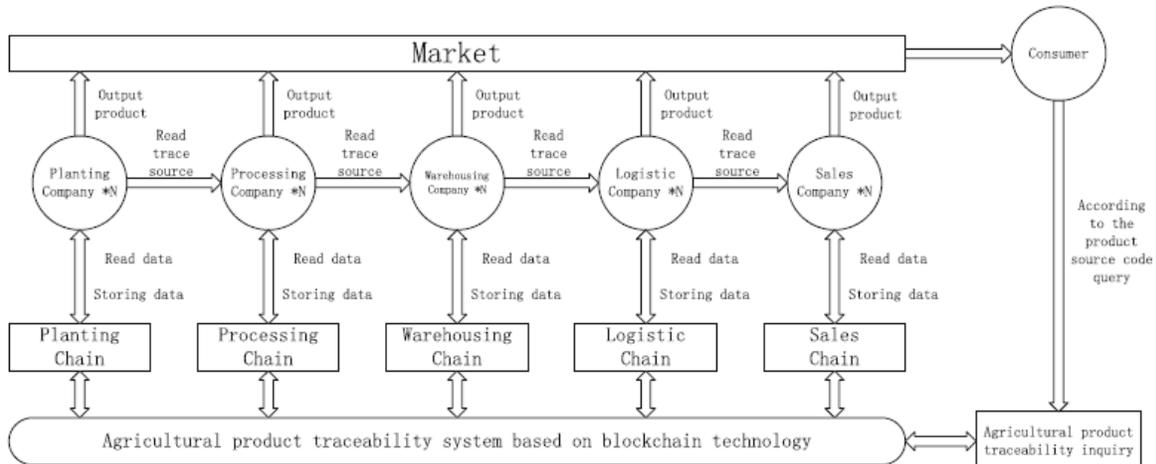


Figura 16: Modello di funzionamento di un sistema di tracciabilità basato su BCT [42]

Il processo di tracciabilità nella catena alimentare inizia con il coltivatore, che è responsabile della produzione del cibo. Il coltivatore utilizza la tecnologia blockchain per registrare i dettagli relativi ai prodotti alimentari e alle condizioni agricole, come le caratteristiche del terreno, le tecniche di coltivazione e i trattamenti utilizzati. Ogni fase del processo è memorizzata in blocchi distinti all'interno della blockchain del coltivatore, con l'aggiunta di timestamp per indicare l'orario esatto di ogni evento.

Quando il cibo viene inviato all'azienda di trasformazione per il processo di lavorazione, i dettagli di questa fase vengono collegati al blocco del coltivatore e registrati come dati nel suo registro. Se il processo di trasformazione comporta più di una fase, ogni fase è accuratamente annotata nella blockchain. Allo stesso modo, tutte le fasi ricevono informazioni dal blocco precedente e vengono aggiunti i dettagli sulla rispettiva fase.

Alla fine del processo, il prodotto alimentare finito raggiunge il consumatore, il quale può accedere a una tracciabilità completa della filiera alimentare grazie alla blockchain. La blockchain garantisce così che ogni passaggio nella catena alimentare sia immutabile e facilmente verificabile, aumentando la trasparenza e la sicurezza del sistema di produzione alimentare.

CAPITOLO 3

ANALISI DEI BUSINESS CASE

3.1 Obiettivi

Il terzo capitolo della presente tesi, si propone di approfondire ulteriormente il tema della blockchain e della sua applicazione pratica nel settore agroalimentare. Le ricerche effettuate hanno rivelato che negli ultimi anni molte aziende hanno intrapreso iniziative per implementare progetti volti a migliorare la tracciabilità del sistema agroalimentare attraverso l'utilizzo della tecnologia blockchain. L'obiettivo principale di questo capitolo è quello di presentare e analizzare alcuni business case reali di aziende che hanno compiuto significativi passi avanti in questo campo.

Tra quelli presentati, dedicheremo particolare attenzione alle soluzioni implementate da “Placido Volpone S.r.l.”, “Spinosa S.p.A.” e “Bofrost Italia”. La selezione di tali casi è motivata dalla diversità dei settori in cui queste imprese operano, tutte però accomunate dalla stessa necessità di trasparenza, fiducia tra le parti e valorizzazione del marchio con conseguente beneficio per l'immagine aziendale.

La prima azienda ad essere analizzata sarà la Cantina Placido Volpone. Questa rappresenta la prima fase di evoluzione nell'utilizzo della blockchain in quanto si basa sulla notarizzazione pura dei dati. Non è coinvolto un ente certificatore esterno che possa attestare la veridicità delle transazioni registrate nella blockchain. La presunzione di veridicità si basa principalmente sul rischio reputazionale e l'azienda stessa è responsabile della verifica e dell'integrità dei dati. Questa prima evoluzione rappresenta un passo fondamentale nel percorso verso una maggiore tracciabilità e trasparenza nel settore agroalimentare, ma mette in luce anche le sfide e le limitazioni associate all'assenza di una verifica esterna. Come vedremo meglio in seguito, la soluzione attuata dalla Cantina Placido Volpone, coinvolge esclusivamente la cantina stessa, in quanto essa

gestisce integralmente il 100% delle attività produttive senza coinvolgere o condividere dati con altri attori della filiera. Il business Case della cantina Placido Volpone è stato il primo ad essere analizzato proprio per la sua semplicità. Abbiamo in particolare ripercorso tutte le fasi della sua progettazione fino al lancio della soluzione sul mercato.

Spinosa e Bofrost rappresentano un'evoluzione della soluzione concepita dalla cantina Placido Volpone. Entrambe, compiono un passo in avanti verso la tracciabilità verificabile e trasparente. In questa fase, il responsabile di qualità dell'azienda, registra l'intero documento firmato dei controlli qualità effettuati, rendendolo disponibile ai clienti. Ciò comporta un significativo avanzamento in quanto i dati relativi ai controlli sono registrati in modo più esaustivo e trasparente, implicando un maggior grado di assunzione di responsabilità da parte dell'azienda. Inoltre, la catena di fornitura comincia ad estendersi anche ai fornitori esterni rendendo il processo più complesso.

A conclusione del capitolo, esamineremo ulteriori casi di studio di aziende come Carrefour Italia, Lavazza e la startup "TATTO WINE", selezionati per le loro caratteristiche peculiari.

Carrefour Italia è stata la prima GDO (Grande Distribuzione Organizzata italiana) a implementare la tecnologia blockchain per la tracciabilità dei prodotti alimentari, iniziando con il pollo a marchio proprio. La complessità della sua filiera rappresenta una sfida significativa. Lavazza, d'altro canto, riveste particolare interesse poiché mette in luce le sfide e i costi associati all'applicazione della tecnologia blockchain in un settore caratterizzato da una catena di fornitura che si estende a livello internazionale. Inoltre l'integrazione di sistemi IoT e strumenti dell'Agricoltura 4.0 per la notarizzazione automatica e periodica dei dati in blockchain, in contesti ancora poco industrializzati, come le fattorie brasiliane nel caso specifico, rappresenta una notevole sfida e richiede sforzi considerevoli.

Infine, ma non meno importante, verrà presentato il progetto "TATTO WINE", che esplora una nuova frontiera, combinando tracciabilità e tokenizzazione in un mercato online che coinvolge numerose aziende e consumatori provenienti da diverse parti del mondo.

In questo capitolo, sono stati presi in considerazione casi di studio appartenenti a settori diversificati, al fine di fornire una panoramica completa della situazione attuale. Questo ci permette di adottare un approccio critico e informato nell'analisi della tecnologia emergente. Alla luce di queste evoluzioni, si può intravedere un futuro promettente in cui la qualità e la sicurezza alimentare saranno garantite da tecnologie all'avanguardia e da collaborazioni sinergiche tra le aziende lungo l'intera filiera.

Un contributo di fondamentale importanza all'analisi dei casi aziendali trattati nel capitolo è stato fornito dall'attuale Tech Strategist presso Microsoft. Prima di ricoprire questa posizione, il nostro riferimento ha trascorso cinque anni in qualità di "Global Blockchain Traceability Product Strategy Lead and Innovation Manager" presso EY. È altresì meritevole di nota il suo stretto legame con la famiglia Volpone, che detiene la proprietà della Cantina, e il suo impegno presso diverse istituzioni accademiche, dove ha tenuto corsi di master di rilevanza nell'ambito della tecnologia blockchain.

Il nostro riferimento, un esperto riconosciuto nel campo della blockchain, ha partecipato attivamente a numerosi progetti in questo settore nel corso della sua carriera professionale. Tra i progetti di rilievo in cui ha giocato un ruolo significativo, vi sono anche quelli relativi a Bofrost, Spinosa e il progetto che coinvolge la cantina di famiglia, in cui è stato personalmente coinvolto. La sua testimonianza è stata preziosa, inoltre abbiamo avuto la possibilità di accedere ed analizzare vari documenti utili relativi all'attuazione di tali progetti.

3.2 La cantina “Placido Volpone S.r.l” – L’ azienda

La storia dell'azienda agricola Volpone e dell’ omonima cantina è una storia lunga ed affascinante, intrecciata con le generazioni che hanno dedicato la loro passione alla coltivazione dell'uva e alla produzione di vino. L'azienda agricola Volpone ha le sue radici nel lontano 1890, quando un trisnonno di Domenico Volpone iniziò la coltivazione del primo vitigno. Questo evento segnò l'inizio di un'impresa che, nel 2008, ha visto la nascita della Cantina Volpone che sarebbe stata destinata a cambiare il proprio nome in “Placido Volpone” nel 2017. In quel anno infatti, Domenico Volpone e Michele Placido, noto attore cinematografico Italiano, il quale aveva da sempre dimostrato grande passione per la sua terra d’origine, avrebbero formalizzato la loro amicizia durata 40 anni diventando soci d’affari. Attualmente, l'azienda agricola possiede circa 80 ettari di terreno, di cui l'uva rappresenta solo all’incirca il 15% della produzione totale, che comprende anche ortaggi come asparagi, carciofi, broccoli e pomodori.

L'ubicazione dei terreni, nel Comune di Ortona, in provincia di Foggia, nei pressi della città di Herdonia, è di importanza cruciale per due ragioni. Prima di tutto, il territorio è collinare, pietroso, siccitoso e ventoso, rendendolo un luogo ideale per la coltivazione dell'uva, il che ha contribuito al successo della Cantina nella produzione di vino. Inoltre, l'attrattiva turistica del sito archeologico Herdonia, denominato da tutti la “Pompei della Puglia” e i cui primi ritrovamenti risalgono addirittura al Neolitico, promette di svolgere un ruolo significativo in futuro, nonostante attualmente sia in mano a proprietari privati. Il 12 Maggio 2022 è infatti stato sottoscritto con la Soprintendenza ai Beni Culturali, l’accordo quadro per l’ottenimento di un milione di euro derivanti dal Contratto Istituzionale di Sviluppo, per iniziare a valorizzare questo luogo storico di grande rilevanza artistica e culturale [43]. Questi fattori sono vantaggiosi per l’azienda Placido Volpone, che ha sempre cercato di legare il suo nome al territorio circostante, come dimostrano il logo ispirato ad una volpe stilizzata trovata in un'antica anfora a

Herdonia, esposta oggi al British Museum e anche le diverse etichette su ogni bottiglia che raccontano ciascuna un pezzo di storia del territorio.

La Cantina Placido Volpone ha attraversato un notevole percorso di crescita nel corso degli anni, portandosi ad un punto cruciale nel progetto "Wine Blockchain". Tutto ebbe inizio nel 2008, quando uno dei discendenti della famiglia Volpone propose una trasformazione fondamentale: passare dalla produzione di uva a fini personali alla produzione di uva destinata alla commercializzazione. Questa decisione fu la giusta conseguenza dell'esperienza ormai accumulata nel corso degli anni e dell'aumento dell'area agricola di proprietà, che passò dai 5 ettari dell'inizio, ai 12 ettari nel 2008 fino ai 19 ettari oggi.

Inizialmente, la Cantina offriva solo tre varietà di vino, tra cui il Malvasia, il Sangiovese e un blend di famiglia. Tuttavia, il suo assortimento si è notevolmente ampliato, abbracciando oggi 3 tipi di vini bianchi, 2 rosati, 4 vini rossi e 2 spumanti.

Il 2016 segna un punto di svolta nella storia della Cantina perché in quell'anno, la famiglia Volpone ha intrapreso un importante processo di rinnovamento, con notevoli cambiamenti strategici che hanno posto le basi per il progetto "Wine Blockchain" di cui l'azienda è stata protagonista. Uno di questi cambiamenti ha coinvolto la tipologia di prodotto offerto. Le etichette sono state completamente rivisitate e la Cantina è passata dalla produzione di vino con contenitori in plastica ad un packaging in vetro, con un notevole aumento dei costi di confezionamento. Questa importante scelta ha indicato una chiara intenzione di rivolgersi ad una clientela diversa, passando da un pubblico di fascia media-bassa ad una clientela più sofisticata.

Simultaneamente, anche il processo produttivo è stato notevolmente migliorato grazie all'acquisto di botti di rovere francese per l'affinamento del vino, con il primo vino raffinato con le botti ottenuto nel 2018. In aggiunta, l'azienda ha ottenuto la certificazione DOC per il suo Nero di Troia, un vino tipico pugliese che già in precedenza

aveva ricevuto numerosissimi premi. Come infatti si legge in un articolo della rivista Forbes dedicato proprio alla cantina: *“La leggenda narra che Diomede, il vincitore della guerra di Troia, portò con sé, dall’Asia Minore in Puglia dei tralci di vite che qui impiantò, dando vita così alla storia del vino di maggior pregio di Placido Volpone, il Nero di Troia. Vini che hanno ricevuto numerosi premi, tra cui il Certificato prodotto d’eccellenza per qualità salutistiche e accertata salubrità del suo antico sapore, e il premio speciale Medusa, dall’Istituto Universitario Internazionale ‘SapientiaMundi’, Policlinico Umberto I dell’Università La Sapienza di Roma, in occasione di Expo 2015”* [44].

In quell’ anno, la Cantina ha anche rivisto i suoi canali di vendita, passando dalla distribuzione a ristoranti e discount, a quella ai distributori del settore dell'industria alberghiera che comprende alberghi, enoteche, ristoranti e bar. Questo cambiamento ha consentito di raggiungere una clientela diversa e di ottenere margini di profitto più elevati. La segmentazione del mercato ha semplificato notevolmente la logistica distributiva dell'azienda. Inoltre, il 2016 ha visto l'avvio dell'e-commerce e la ristrutturazione del sito web aziendale, questo aspetto non è da sottovalutare perché rappresenta il primo interesse dell’azienda verso l’istaurazione di un rapporto diretto e di fiducia con il cliente, instaurando una relazione digitale con lui.

Infine, nello stesso anno, la Cantina ha mostrato interesse verso l’Agricoltura 4.0 adottando la coltivazione a "spalliera" al posto di quella a "tendone. Questa tipologia di coltivazione è fondamentale perché permette una maggiore meccanizzazione dei processi agricoli e pone buone basi per una futura introduzione di mezzi intelligenti, come gli smart tractor con guida automatica, capaci di comunicare continuamente e bidirezionalmente con tutte le altre apparecchiature wireless (IoT) presenti sul terreno e nell'ecosistema circostante.

Questi cambiamenti hanno contribuito a definire l'identità vinicola della Cantina Placido Volpone in modo più distintivo. L'insieme di queste trasformazioni l’ha plasmata in

un'azienda vinicola di successo, pronta ad affrontare le sfide future, tra cui il progetto "Wine Blockchain".

3.2.1 Motivazioni alla base dell'adozione Blockchain

La contraffazione e l'adulterazione dei prodotti alimentari, inclusi i vini, sono problematiche persistenti che hanno causato danni significativi all'industria agroalimentare. Secondo uno studio dell' EUIPO (Ufficio dell'Unione Europea per la proprietà intellettuale) basato su dati provenienti da 24 Stati membri che rappresentano quasi il 99% del consumo di vino in UE, si calcola che le industrie legittime perdano circa 1,3 miliardi di EUR di entrate all'anno a causa della presenza di alcolici e vini contraffatti nel mercato dell'UE, per una percentuale pari al 3,3 % delle vendite di questi settori [45]. È rilevante notare che questo studio, sebbene sia datato, è citato per il suo valore informativo in quanto è stato condotto nel 2016, lo stesso anno in cui la Cantina Volpone ha sperimentato in prima persona le conseguenze negative della contraffazione, le quali hanno influito notevolmente sulle sue operazioni aziendali e scelte strategiche. In quell'anno la cantina si trovò coinvolta in un grave caso di contraffazione dei suoi vini. Il responsabile di questa frode era uno dei rappresentanti della cantina, noto da molti anni alla famiglia Volpone grazie ad un lungo rapporto lavorativo iniziato sin dal 2008. Questo rappresentante, aveva iniziato ad acquistare vini di scarsa qualità da altre cantine della zona e ad etichettarli con il marchio Volpone, sfruttando la sua posizione privilegiata. Successivamente, distribuiva questi vini contraffatti nella zona pugliese del Gargano.

La frode rimase nascosta finché un cliente, che aveva acquistato il vino contraffatto, contattò direttamente l'impresa Volpone per riacquistare il prodotto. Il responsabile dell'area commerciale notò che il nome del cliente non era presente nella lista dei clienti serviti, scatenando una ricerca approfondita che portò alla scoperta delle attività del rappresentante. Purtroppo, denunciare l'accaduto si rivelò un compito arduo poiché il

cliente era riluttante a testimoniare, avendo acquistato il vino senza una regolare fattura, e non esistevano prove concrete delle azioni svolte dal rappresentante nel corso del tempo.

Questa situazione aveva il potenziale per conseguenze gravi, specialmente per una cantina che aveva iniziato da poco la sua attività. È a questo punto che la scelta di adottare la tecnologia blockchain è diventata chiara e strategica. La Cantina Volpone ha deciso di partecipare al progetto "Wine Blockchain" per garantire la massima trasparenza del prodotto al consumatore finale e combattere la contraffazione. La Cantina Volpone dimostra che l'innovazione tecnologica può essere una risposta efficace alle sfide del settore viticolo, proteggendo la tradizione e la qualità dei suoi prodotti.

3.2.2 Il progetto "Wine Blockchain"

Il progetto in questione è stato concepito da Ernst & Young (EY), una rinomata società di consulenza globale specializzata nello sviluppo di soluzioni basate su tecnologia Blockchain. In particolare, il Blockchain Hub di EY ha giocato un ruolo chiave nell'intero processo di sviluppo. Nel 2016, come evidenziato dalla revisione della letteratura scientifica presentata nel primo capitolo di questa tesi, si è assistito a una significativa svolta nell'ambito delle ricerche sulla tecnologia blockchain. In quell'anno, è emersa l'idea di sfruttare le capacità della tecnologia blockchain non solo nel contesto finanziario, ma anche in altri settori, con particolare enfasi sull'industria agroalimentare.

Questo era motivato dalle sfide complesse presenti in tale settore, tra cui la gestione intricata della catena di approvvigionamento, la diversità dei prodotti, la lotta alla contraffazione, le rigorose regolamentazioni sulla qualità e la necessità di garantire la provenienza e la qualità dei prodotti agroalimentari. Consapevole delle promettenti applicazioni della tecnologia blockchain nel settore agroalimentare, l'azienda di

consulenza EY ha iniziato a concentrarsi sull'attività di individuazione di startup promettenti.

Il processo di ricerca si è limitato a startup che avevano già sviluppato soluzioni mirate e tra le numerose opzioni esaminate, una startup in particolare ha catturato l'attenzione: Ezlab.

Questa innovativa startup era stata fondata a Padova solo due anni prima, nel 2014, all'interno dell'incubatore universitario Galileo Visionary District, specializzandosi nello sviluppo di soluzioni basate su blockchain per l'industria agroalimentare. Nel corso del tempo, Ezlab è cresciuta e si è trasformata in una piccola e media impresa, con uffici operativi a San Francisco (CA) e il più recente a Reims (FR) [46]. In quel periodo, Ezlab era una delle poche realtà ad aver sviluppato un prototipo basato su blockchain, seppur mai applicato in un contesto reale. L'azienda di consulenza avrebbe potuto sfruttare le competenze della startup per realizzare un progetto all'avanguardia nel settore agroalimentare, mentre Ezlab avrebbe finalmente potuto dimostrare l'applicabilità del proprio prototipo in un contesto reale.

Questa collaborazione è stata l'inizio di una fase cruciale, durante la quale è emersa la necessità di progettare una soluzione semplice ed efficace per affrontare le sfide del settore agroalimentare. In questo contesto, EY ed Ezlab hanno identificato la cantina Volpone come il partner ideale. Tale selezione è stata influenzata dal crescente interesse nella lotta alla contraffazione dei vini, nonché dal fatto rilevante che la cantina Volpone avesse una struttura operativa relativamente semplice, in quanto gestiva internamente tutte le fasi del processo di coltivazione e produzione. Inoltre, la cantina aveva avviato iniziative di innovazione proprio nel periodo in cui EY ed Ezlab stavano conducendo la ricerca di mercato, dimostrando la sua apertura a progetti altamente innovativi. Infine, c'è da considerare che la cantina Volpone era stata recentemente coinvolta nel caso di frode descritto nel precedente paragrafo e per questo desiderava ripristinare la propria reputazione di onestà e trasparenza, rafforzando la fiducia dei clienti e dimostrando la

qualità dei propri prodotti. Di conseguenza, le tre aziende coinvolte hanno raggiunto rapidamente un accordo e hanno dato vita al progetto "Wine Blockchain". La cantina Placido Volpone è diventata così la prima al mondo a certificare l'intera filiera di produzione del suo vino bianco "Falanghina" attraverso la tecnologia blockchain, creando il primo vino a "Km0 Virtuale"[44].

3.2.3 Le fasi del progetto

Fase 1 - Valutazione

La fase iniziale del progetto ha riguardato un processo di valutazione, il quale ha richiesto l'impegno delle aziende coinvolte per un periodo di circa tre mesi. Questa fase ha rappresentato un momento di rilevanza strategica, in cui sono stati definiti gli obiettivi finali e pianificate le azioni necessarie per il loro conseguimento. È stata una fase in cui sono state gettate le basi per la successiva definizione e strutturazione del progetto.

In questa fase è stata fondamentale la collaborazione tra i tre attori coinvolti. Da un lato gli esperti della tecnologia Blockchain (EY ed Ezlab), dall'altro gli esperti del settore agroalimentare, direttamente coinvolti nei processi agricoli e produttivi della cantina.

Le attività svolte in questa fase preliminare di indagine hanno compreso l'identificazione delle fasi della catena del valore e il mapping dei processi produttivi. Inoltre si è proceduto alla definizione degli strumenti informativi utili per supportare il progetto.

I risultati conseguiti in questa fase includono:

1. **Individuazione delle fasi da sottoporre a notarizzazione:** Si è deciso di focalizzarsi su tutte le fasi produttive interne, escludendo solamente quelle successive alla vendita. Questa scelta è stata motivata dalla volontà di evitare una eccessiva complessità in questo primo progetto pilota, coinvolgendo il minor numero

possibile di attori della filiera. Va notato che la cantina stessa copriva gran parte della catena del valore del vino, gestendo internamente l'intero processo dalla coltivazione dell'uva alla produzione e trasformazione, motivo per cui era stata scelta come azienda partner nella fase di ricerca di mercato.

2. **Selezione del prodotto pilota:** La scelta è ricaduta sulla Falanghina come il primo vino da sottoporre al processo di certificazione.
3. **Identificazione degli strumenti necessari:** Si è stabilito che la raccolta iniziale dei dati sarebbe stata effettuata manualmente, utilizzando i documenti cartacei disponibili, con l'intenzione di implementare un sistema informativo in una fase successiva.

Riguardo l'identificazione dei processi da sottoporre a notarizzazione di seguito elencati quelli selezionati:

COLTIVAZIONE	
Attività	Descrizione
Potatura invernale	Potatura invernale (detta Potatura secca) selezionando i tralci migliori in relazione alla loro capacità produttiva, mantenendo un giusto equilibrio tra parte aerea e apparato radicale
Eliminazione dei sermenti	Eliminazione dei sarmenti residui della potatura tramite trinciatura meccanica lungo il filare, ciò serve a lasciare nel terreno sostanza organica e a migliorarne la struttura.
Concimazione	Concimazione organica con Duofert 7-20CA+23C
Legatura dei tralci	Legatura dei tralci lungo il filo di acciaio che sostiene i filari
Trinciatura	Trinciatura sarmenti di risulta da potatura invernale.
Aratura	Aratura meccanica per interrimento concime organico.
Feromoni	Disposizione lungo i filari dei diffusori di feromoni per la lotta contro la Lobesia Botrana tramite confusione sessuale.
Diserbo meccanico	interventi meccanici di diserbo lungo i filari
T Trattamenti	Lotta alla cocciniglia (Polithiol, prodotto BIO)
Potatura Verde	Potatura verde che consiste nella spollonatura e nella scacchiatura (soppressione dei germogli sterili).
T Trattamenti	Lotta Fungicida contro iodio e peronospora secondo modalità biologica (maggiormente zolfo e rame)
Diserbo meccanico	Interventi meccanici di diserbo lungo i filari
Diserbo manuale	Zappatura ceppi manuale con falchino
T Trattamenti particolari	Lotta Fungicida contro oidio con solforatura a secco
Cimatura meccanica	Cimatura per ridimensionare la vegetazione favorendo la penetrazione

	nella fila di aria e luce con effetti positivi su sanità e maturazione dei grappoli
Spampanatura manuale e selezione dei grappoli	Asportazione dei pampini dalle viti: le foglie che coprono il grappolo
Diserbo meccanico	interventi meccanici di diserbo lungo i filari
Seconda Cimatura meccanica	Cimatura per ridimensionare la vegetazione favorendo la penetrazione nella fila di aria e luce con effetti positivi su sanità e maturazione dei grappoli
Diserbo Manuale	Zappatura ceppi manuale con falchino
Trattamenti particolari	Cimatura per ridimensionare la vegetazione favorendo la penetrazione nella fila di aria e luce con effetti positivi su sanità e maturazione dei grappoli
Terza Cimatura meccanica	Cimatura per ridimensionare la vegetazione favorendo la penetrazione nella fila di aria e luce con effetti positivi su sanità e maturazione dei grappoli.
Analisi	Al fine di monitorare la maturazione dell'uva, vengono analizzate le uve sotto il profilo del grado babo, PH e acidità totale.
Vendemmia	Raccolta

Figura 17: Elenco processi coltivazione

VINIFICAZIONE	
Attività	Descrizione
Introduzione uva in cantina	All'arrivo dell'uva in cantina l'uva viene pesata ed analizzata.
Analisi	Appena arrivate le uve vengono analizzate nuovamente per quanto riguarda il grado babo.
Diraspapigiatura e pressatura	I grappoli entrano in una diraspapigiatrice e subiscono una pressatura soffice.
Sfecciatura	Dopo 12 ore di riposo avviene la prima sfecciatura prefermentativa per eliminare le fecce e ridurre il contatto con il mosto, evitando il rilascio di sostanze non desiderate durante la fermentazione. Durante queste 12 ore vi è l'abbattimento della temperatura in maniera controllata a 8 gradi per permettere la sedimentazione delle fecce.
Inoculo di lieviti selezionati	In questa fase avviene l'inoculo di lieviti selezionati.
Fermentazione-Rimontaggi	Questa fase viene svolta a temperatura controllata intorno ai 14-15 gradi. Seguono i rimontaggi e aggiunta di un attivatore specifico per lo sviluppo dei lieviti, che consente una fermentazione alcolica regolare e previene la formazione di composti indesiderati. I rimontaggi sono effettuati all'interno della cisterna.
Svinatura	Terminata la fermentazione si procede alla svinatura tramite travaso e successivo stoccaggio in vasche d'acciaio. Segue una seconda Sfecciatura, con aggiunta di metabisolfito di potassio, e una terza sfecciatura con lavorazioni per evitare ossidazioni.
Affinamento	Si può procedere quindi con la fase di affinamento di 150 giorni nella cisterna 22 con ripetuti travasi.
Sedimentazione statica delle fecce	Separazione senza aggiunta di prodotti dalle fecce più grosse (prima della chiarifica).

Chiarifica	Uso di agenti leganti che permettono la “posa”.
Prima filtrazione	Sgrossatura (separazione) della parte sedimentata durante la chiarifica del vino.
Stabilizzazione tartarica	Stabilizzazione tartarica che avviene attraverso abbattimento termico a -5 gradi per 7 giorni con ritorno a temperatura ambiente per altri 7 giorni.
Ultime filtrazioni e imbottigliamento	Ultime filtrazioni di cui la finale prende il nome di microbiologica attraverso l'utilizzo di filtri housing con cartucce da 0,45 micron per eliminazione certa di tutti i batteri.
Affinamento	Affinamento in bottiglia.

Figura 18: Elenco processi vinificazione

Fase 2 – adozione di AgriOpenData

Nella seconda fase della progettazione l'attenzione si è concentrata sulla raccolta e la gestione delle informazioni aziendali.

Va evidenziato che la raccolta delle informazioni è stata in gran parte effettuata manualmente poiché la Cantina Volpone non aveva investito in sistemi informativi o tecnologie avanzate, come sensori, prima dell'inizio del progetto. Questo processo ha implicato la ricerca e la raccolta dei documenti cartacei precedentemente registrati dalla cantina, prima dell'inizio del progetto. Per le operazioni in corso, invece, è stato possibile un accesso e una gestione istantanea delle informazioni utili.

Un aspetto di notevole rilevanza ha riguardato la decisione di adottare un Sistema di Gestione dei Dati per l'archiviazione e il monitoraggio delle informazioni. Il software gestionale selezionato è stato "AgriOpenData", una piattaforma online sviluppata da Ezlab con l'obiettivo di ottimizzare la gestione aziendale nel settore agroalimentare. Questo software era già stato introdotto sul mercato dalla startup quattro mesi prima. Esso è stato concepito per semplificare la pianificazione della produzione e la gestione della documentazione necessaria e anche come uno strumento di supporto alle decisioni, con importanti implicazioni sia in termini di sostenibilità agricola che economica. Il software gestionale AgriOpenData è un'applicazione web basata su cloud, che non richiede alcuna installazione locale e che fornisce un database da cui è possibile

accedere comodamente ad un ricco insieme di informazioni, le quali vengono automaticamente rappresentate attraverso report, indicatori e statistiche utili tramite una visualizzazione semantica.

Le informazioni inserite dalle aziende, riguardanti, ad esempio, il tipo e la quantità di fitofarmaci utilizzati, le tecniche di coltivazione e le quantità raccolte, vengono elaborati in tempo reale. Questo permette alle aziende agricole di adempiere in modo agevole agli obblighi di legge relativi alla compilazione del registro dei trattamenti, noto come "Diario di campagna". Inoltre, nel caso di prodotti a denominazione di origine protetta (DOP), indicazione geografica protetta (IGP), e denominazione di origine controllata (DOC), che richiedono il rispetto di rigidi disciplinari al fine di evitare sanzioni legali e il rischio di essere esclusi dal mercato, AgriOpenData si configura come uno strumento che consente di monitorare in tempo reale la conformità alle normative di legge perché è in grado di raccogliere informazioni da enti esterni quali la Regione o il Ministero.

AgriOpenData era stato altresì concepito per agevolare la creazione di reti agroalimentari al fine di favorire la condivisione e l'interconnessione di dati e conoscenze nella direzione di una completa integrazione verticale della filiera, che va dalla produzione, alla grande distribuzione organizzata, fino al consumatore finale. Tale piattaforma consente la raccolta e la condivisione di informazioni provenienti da diversi punti, inclusi anche gli strumenti dell'Internet delle Cose (IoT) [47] [48].

L'introduzione di AgriOpenData nel progetto "Wine Blockchain" ha semplificato notevolmente la gestione dei dati, risparmiando tempo rispetto alla documentazione cartacea. La Cantina Volpone ha digitalizzato così vari aspetti della gestione aziendale, consentendo un rapido accesso ai dati tramite computer, tablet e smartphone. Questo ha comportato un immediato alleggerimento degli oneri burocratici derivanti dalla redazione del Quaderno di Campagna, obbligatorio secondo l'art. 16 del D.Lgs 150/2012, il quale stabilisce che il Quaderno di Campagna è un registro obbligatorio per tutte le

aziende agricole che utilizzano prodotti fitosanitari per la difesa delle colture agrarie. Tale normativa richiede che i trattamenti siano annotati entro il periodo della raccolta o, al più tardi, entro 30 giorni dalla loro effettuazione. L'implementazione di AgriOpenData ha agevolato sin da subito la gestione dei dati, rendendoli immediatamente accessibili e consultabili, fornendo un'utile panoramica dello stato dell'azienda in qualsiasi momento.

Fase 3 – sviluppo della soluzione

La fase finale ha coinvolto l'effettivo sviluppo della soluzione precedentemente progettata. Le attività svolte in questa fase includono lo sviluppo degli Smart Contract, la notarizzazione dei dati in Blockchain, la progettazione dello story-telling e la creazione della Landing page, attualmente accessibile al consumatore finale.

Prima di tutto la Cantina Volpone ha dovuto decidere quali informazioni condividere in chiaro sulla Blockchain e quali mantenere crittografate, poiché alcune informazioni sono rilevanti per i consumatori mentre altre sono di importanza strategica per la produzione del vino. Poi, i professionisti informatici della startup Ezlab si sono interessati della strutturazione degli Smart Contract.

Successivamente, è stata progettata la Landing page, un sito web specifico che i visitatori possono raggiungere tramite il sito della Cantina Volpone o tramite un QR Code sull'etichetta delle bottiglie di vino. Questo processo è stato svolto in collaborazione con la società NeriWolff, appartenente al gruppo Ernst & Young.

La landing page è stata più volte modificata e migliorata nel corso degli anni fino ad ottenere il risultato che vediamo oggi. Ripercorre tutte le attività coinvolte nel processo di produzione del vino, dalla coltivazione dell'uva, alla vinificazione. L'utente, una volta effettuato l'accesso alla pagina web ufficiale, può leggere la storia e le caratteristiche tecniche della bottiglia di vino che vuole acquistare, può inoltre visualizzare il calendario delle lavorazioni, dalla potatura invernale alla vendemmia e dall'arrivo dell'uva in

cantina, sino all'affinamento in bottiglia (Figura 19). Può infine verificare la certificazione in blockchain. A questo proposito attualmente le opzioni per l'utente sono 2: è possibile scaricare un file pdf che riporta l'hash di riferimento ed un link ad uno dei motori di ricerca delle transazioni (Etherscan, Blockchain.com, OpenSea etc...), oppure, cliccando sul link di riferimento "Verifica la Blockchain" l'utente è indirizzato direttamente al sito di Ethereum o Bitcoin per verificare le transazioni.



Figura 19: Sito Web Ufficiale cantina Placido Volpone

Nel corso degli anni, il processo di notarizzazione in blockchain si è esteso ad altre categorie di bottiglie presenti nella cantina. Inizialmente, si è fatto uso esclusivamente della piattaforma Ethereum; successivamente, è stato sperimentato anche l'utilizzo della blockchain di Bitcoin. È importante infatti ricordare che nonostante Bitcoin sia notoriamente più lenta e dispendiosa in termini di risorse, essa è preferita in virtù delle sue migliori caratteristiche di immutabilità e sicurezza dei dati notarizzati.

Di conseguenza, una volta che gli utenti accedono alle pagine pertinenti, in base all'anno di riferimento o al tipo specifico di bottiglia selezionata, tramite il link "Verifica Certificazione," essi possono essere reindirizzati a siti web diversi.

Indipendentemente dagli strumenti tecnologici impiegati, il principio fondamentale rimane costante: i dati sono raccolti e poi gestiti grazie al software AgriOpenData, ciò che la cantina dichiara viene registrato e autenticato mediante un processo di hash e notarizzazione in una delle due blockchain che garantiscono l'immutabilità, ovvero Ethereum e Bitcoin (Figura 20).

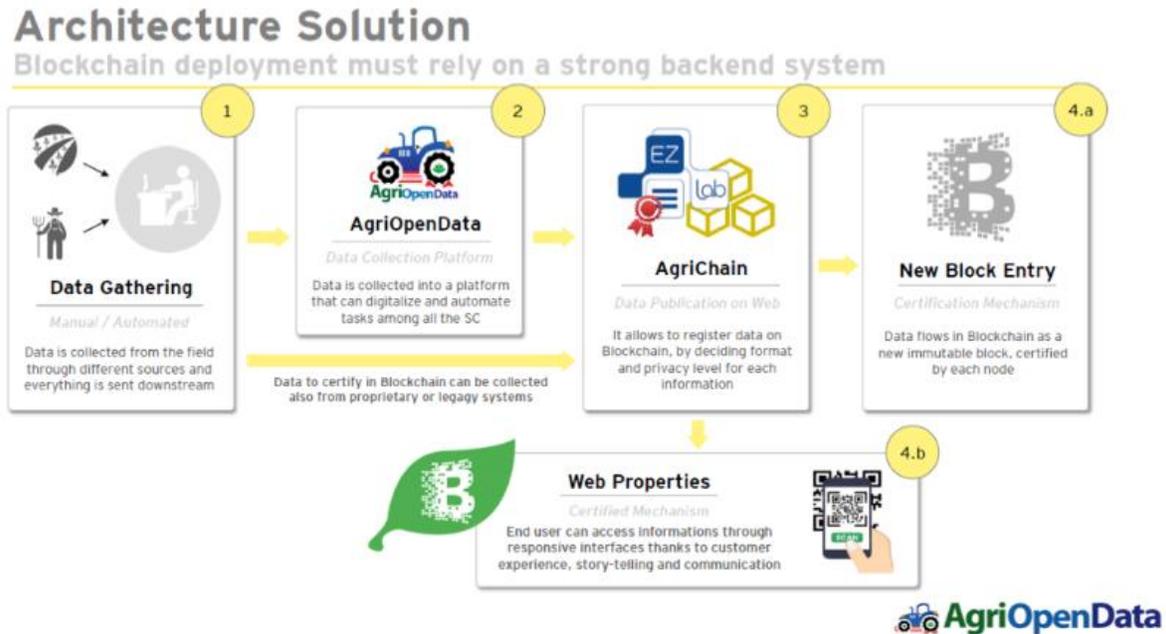


Figura 20: Soluzione implementata per la cantina Placido Volpone [49]

È di fondamentale importanza evidenziare che, nel contesto specifico del progetto in questione, le informazioni notarizzate in modo immutabile attraverso la tecnologia blockchain provengono direttamente dal produttore stesso, senza che intervenga un ente certificatore esterno. Inoltre la cantina, svolgendo internamente tutte le attività dichiarate in blockchain, è l'unico attore della filiera a monitorare il processo, quindi la presunzione di autenticità di tali informazioni si basa esclusivamente sul rischio reputazionale, nel senso che l'azienda ha un forte interesse nel fornire e rendere pubbliche informazioni al 100% veritiere, al fine di evitare che un'ipotetica verifica da

parte di terzi, possa compromettere la sua reputazione o influenzare negativamente la percezione dell'opinione pubblica, che l'azienda si è costruita nel corso del tempo.

3.2.4 Risultati ottenuti

I dati stimati, gentilmente resi disponibili dall'azienda, ci hanno permesso di valutare l'impatto del progetto in oggetto. In particolare, la Cantina Placido Volpone è riuscita a conseguire una significativa riduzione dei costi di produzione pari al 3,5% grazie all'implementazione della digitalizzazione e della tecnologia Blockchain. Tale diminuzione dei costi è strettamente connessa a due principali fattori:

1. Un miglioramento dell'efficienza gestionale ottenuto attraverso l'impiego del Data Management System, che ha portato a una notevole riduzione del 10% delle attività burocratiche precedentemente eseguite manualmente.
2. Un notevole aumento del 25% nella qualità del controllo e delle garanzie del prodotto.

Inoltre, la notizia che la Cantina Placido Volpone fosse la prima cantina al mondo a certificare il proprio prodotto tramite blockchain, ha generato sin da subito un significativo impatto mediatico che ha riguardato sia la stampa nazionale che quella internazionale, contribuendo positivamente alla percezione dell'azienda da parte del mercato. Tale esposizione mediatica è stata un aspetto strategico notevolmente vantaggioso per la Cantina, consentendole di aumentare i prezzi dei prodotti e conseguentemente registrare profitti superiori. Non dimentichiamo che l'aumento dei prezzi è stato correlato anche al fatto che la cantina aveva effettuato precedentemente il re-branding del proprio prodotto, aumentando quindi il valore offerto e rivolgendosi ad una clientela diversa. L'azienda infatti nelle sue stime, ha normalizzato il nuovo prezzo per scorporare la quota parte di aumento dovuto al re-branding, concludendo che l'aumento del prezzo dovuto al progetto "Wine Blockchain" è stato del 6.2% a bottiglia.

In conclusione, il calcolo del ROI (Return on Investment) si attesta al 14,53%, rappresentando un risultato eccellente, soprattutto considerando che tutte le fasi notarizzate sono condotte internamente al 100%. Si potrebbe infatti ipotizzare che, se l'azienda avesse avuto rapporti con fornitori esterni, avrebbe avuto sia la certificazione di notarizzazione in blockchain, sia la determinazione di responsabilità nei confronti dei fornitori e quindi probabilmente i benefici sarebbero stati ancora superiori.

La decisione della Cantina di proseguire con il progetto nel corso degli anni, estendendo la sua implementazione a tutti gli altri vini disponibili sul mercato, costituisce una chiara evidenza dei notevoli vantaggi ottenuti dall'azienda attraverso questa iniziativa.

3.3 Spinosa S.p.a

Un virtuoso esempio di innovazione nel campo dell'industria lattiero-casearia italiana è rappresentato da Spinosa Spa, un'azienda a conduzione familiare con sede a Castel Volturno, che si posiziona tra i principali produttori di mozzarella di bufala campana Dop e dei suoi derivati.

Spinosa Spa ha le sue radici negli anni '40, quando la signora Lucia Spinosa e suo marito dirigevano un piccolo caseificio nella regione campana. Nel 1994, questo piccolo caseificio si trasforma in un'azienda strutturata, in grado di introdurre i propri prodotti nei mercati locali della Campania e del Lazio. Successivamente, l'azienda si espande e inizia a fornire i suoi prodotti alle principali catene della grande distribuzione organizzata italiana. A partire dal 2000, Spinosa Spa diventa un punto di riferimento a livello internazionale, con il mercato estero che contribuisce al 65% del suo fatturato. Attualmente, i prodotti Spinosa sono diffusi in diversi paesi tra cui Spagna, Inghilterra, Francia, Svizzera, Austria, Polonia, Ungheria, Germania, Svezia, Finlandia, Olanda, Belgio, Canada e USA [50].



Nel corso del 2019, l'azienda ha portato a termine con successo un progetto pionieristico nel settore lattiero-caseario, rendendo l'intero processo di produzione della mozzarella di bufala completamente tracciabile lungo tutta la filiera. Questo ha permesso a tutti i consumatori di accedere a informazioni dettagliate sulla provenienza e sulla qualità del prodotto.

Ciascuna confezione di prodotto DOP con il timbro "Certificato Blockchain - Quality" contiene un codice QR. Spinosa acquista il packaging con anticipo rispetto alla produzione e non ha la possibilità di stampare QR code univoci su ogni confezione, per questo la scansione del QR code porta il consumatore alla pagina generale (https://www.spinospa-blockchain.com/qualita_certificata/it) che poi richiederà

l'inserimento manuale o automatico (tramite lettura OCR) del codice lotto indicato sulla confezione (Figura 21).

Questo permette ai consumatori di accedere ad una pagina dedicata, grazie alla quale, è possibile consultare informazioni sull'intero processo. Le informazioni riguardano i dettagli su allevamento, arrivo allo stabilimento, trasformazione e distribuzione. È possibile verificare inoltre tutti gli standard di qualità ai quali l'azienda si attiene in termini organolettici e di sicurezza alimentare in conformità con la regolamentazione stabilita dal Consorzio per la tutela della mozzarella di bufala Campana DOP.



Figura 21: Prodotto Spinosa (lotto 3297)

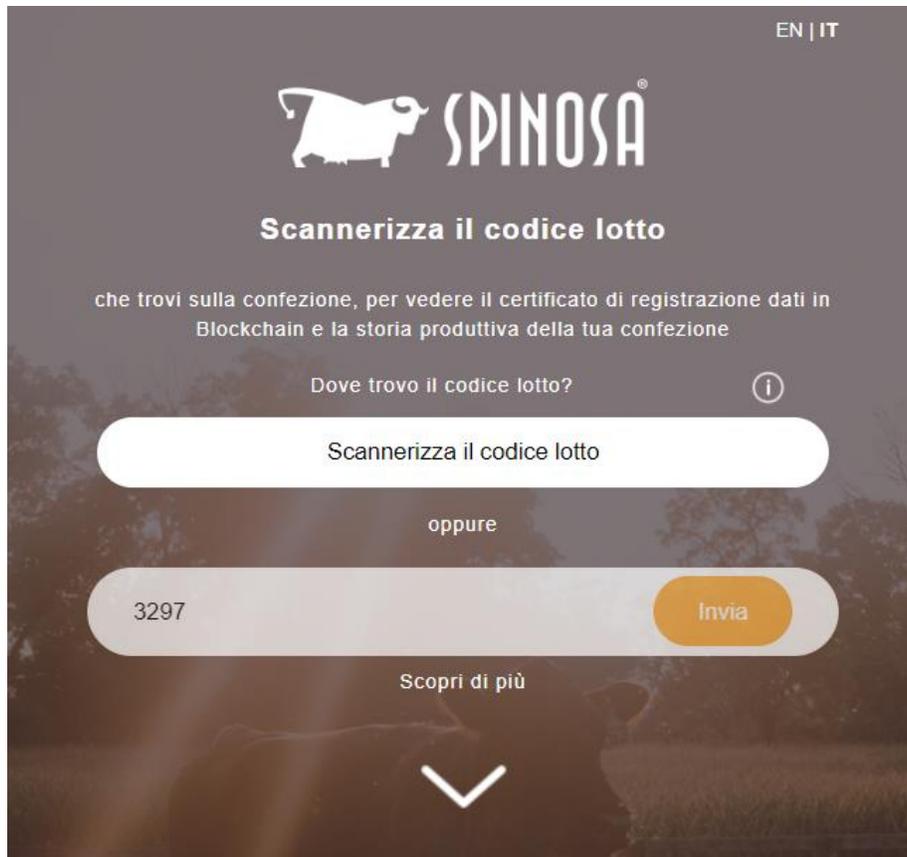


Figura 22: Landing page Spinosa

La soluzione sfrutta la piattaforma Ops Chain Food Traceability di EY basata su architettura Ethereum [51]. I dati forniti ai consumatori sono inseriti manualmente da parte del personale coinvolto nelle diverse fasi di produzione. Sin dall'inizio è stata sviluppata un'interfaccia web per consentire al personale di Spinosa, che riceve la documentazione riguardante il latte raccolto dai fornitori, di inserire i dettagli relativi a ciascun lotto di latte ricevuto. Successivamente, i dati sulle fasi successive di trasformazione vengono inseriti tramite la stessa interfaccia web da parte del personale incaricato del controllo di qualità. Una volta raccolti i dati sulla materia prima, il lotto di contributo (lotto materia prima) viene registrato e inserito nella Blockchain. In seguito, viene creato un lotto per il prodotto finito e associato ai lotti di materia prima precedentemente creati che hanno contribuito alla sua realizzazione (EY 2019).

Il Consorzio per la Tutela della Mozzarella di Bufala Campana DOP effettua ispezioni periodiche presso i caseifici per assicurarsi che i produttori rispettino gli standard (art. 10 del regolamento CEE n. 2081/92). Solo le aziende che superano queste ispezioni ricevono la certificazione DOP e avranno il dovere di apporre sulle confezioni il contrassegno tipico della mozzarella di bufala campana DOP, utilizzando specifici riferimenti colorimetrici (art.1 DM 7 aprile 1998). Tale contrassegno è da effettuarsi nello stesso stabilimento di produzione.

Alcuni degli standard di qualità e regolamentazioni imposte dal Disciplinare di produzione della denominazione di Origine Protetta "Mozzarella di Bufala Campana" includono:

- Origine e territorialità: alcune province della Campania, del Lazio, della Puglia e la Provincia di Isernia per il Molise;
- Materie prime: il latte deve provenire da capi bufalini allevati all'aperto in una delle zone indicate nel punto precedente ed iscritti ad apposita anagrafe. Deve inoltre possedere una percentuale di grasso non inferiore al 7.2% e un contenuto proteico minimo del 4.2%. Questo deve essere filtrato e lavorato entro e non oltre le sessanta ore dalla prima mungitura;
- Metodi di produzione: per l'acidificazione del latte deve essere utilizzato solo siero innesto, una coltura di microrganismi naturali presenti nel siero, derivante dalla lavorazione del latte proveniente da precedenti produzioni della stessa azienda oppure di aziende limitrofe. La coagulazione, previo riscaldamento del latte ad una temperatura variante da 330° a 390° è ottenuta per aggiunta di caglio naturale di vitello. Dopo tutte le successive fasi di lavorazione, il prodotto può essere affumicato solo con procedimenti naturali e tradizionali, in tal caso la denominazione di origine deve essere seguita dalla dicitura "affumicata";
- Peso: variabile da 10g a 800g (fino a 3 kg per le trecce);

- Aspetto esterno: colore bianco porcellanato, non deve presentare sbavature e irregolarità superficiali;
- Pasta: struttura a foglie sottili, leggermente elastica nelle prime otto-dieci ore dopo il confezionamento, successivamente tendente a divenire più fondente. Non devono essere aggiunti coloranti o conservanti.

L'azienda Spinosa Spa ha scelto di utilizzare la tecnologia di tracciabilità basata su blockchain per migliorare ulteriormente la trasparenza e la certificazione di conformità ai rigorosi standard richiesti. Questa decisione è stata particolarmente cruciale quando l'azienda ha iniziato ad operare sui mercati esteri. La necessità di certificare la produzione è emersa come un pilastro fondamentale per consentire l'esportazione del marchio "Made in Italy" in maniera autenticata e consolidata. Ciò ha contribuito a rafforzare la reputazione dell'azienda sia tra i clienti italiani che stranieri.

All'interno della landing page, dopo aver inserito il codice del lotto, il consumatore avrà accesso a tutti i dati forniti per ogni fase della produzione, comprese le descrizioni di ogni processo. Di seguito i dati registrati in blockchain per ogni fase:

Fase 1 - Allevamento: le informazioni fornite riguardano in primis le indicazioni geografiche. Attraverso una mappa è possibile identificare la posizione dell'allevamento da cui proviene il latte acquistato. Successivamente, l'utente può informarsi su altri dettagli relativi alla contribuzione del lotto: data di mungitura, razza degli animali e percentuale di latte sul totale del latte conferito.

Fase 2 – Arrivo allo stabilimento: l'utente può controllare le date in cui il latte è stato trasportato ed analizzato. In particolare può informarsi sulle caratteristiche del vettore che si è occupato del trasporto e sugli orari di inizio raccolta e arrivo allo stabilimento, e ancora orari di inizio e fine pastorizzazione.

Fase 3 – Trasformazione: in questa sezione sono indicate le date di inizio e fine trasformazione. È possibile individuare anche altre informazioni inserite per ogni sottoprocesso.

Per la pastorizzazione sono indicate la temperatura e la durata. Questa attività infatti deve essere eseguita a temperature adeguate al fine di garantire la sicurezza dell'alimento. Il Regolamento (CE) n. 2074/2005 afferma che *la pastorizzazione è ottenuta mediante un trattamento comportante (i) una temperatura elevata durante un breve periodo, almeno 72° per 15 secondi; (ii) una temperatura moderata durante un lungo periodo, almeno 63° per 30 minuti; (iii) ogni altra combinazione tempo-temperatura che permetta di ottenere un effetto equivalente, di modo che i prodotti diano una reazione negativa al test di fosfatasi alcalina immediatamente dopo aver subito tale trattamento.* Per verifica del risultato positivo del processo di pastorizzazione infatti nella landing page dell'utente, in corrispondenza della suddetta lavorazione, viene riportato anche il risultato del test di fosfatasi alcalina.

Per la cagliatura, ottenuta aggiungendo il caglio al latte riscaldato, vengono indicate appunto temperatura del latte e durata.

La massa della cagliata viene frammentata e poi va fatta maturare per un tempo che varia in base alla quantità di fermenti contenuti nel siero innesto aggiunto, questa fase serve a rendere la pasta filabile e deformabile. Pensando alla landing page, anche qui verranno indicate data e durata.

Dopo la prova di Filatura, la formatura e il Rassodamento si passa all'analisi del prodotto finito. Nella pagina dedicata verranno indicati i parametri organolettici della mozzarella prodotta (forma, consistenza, aspetto, colore, odore, sapore), i parametri chimici tra cui umidità e grasso, infine i parametri microbiologici (lieviti e muffe, E.coli, Coliformi).

Fase 4 – Distribuzione: in questa ultima sezione vengono inserite la temperatura di trasporto e la data di uscita dallo stabilimento.

Nelle figure sottostanti sono riportate le visualizzazioni condivise con l'utente. Tutti gli esempi proposti in questo paragrafo si riferiscono al lotto numero "3297". Questo codice era riportato sulla confezione della mozzarella di Bufala Campana DOC in vaschetta da 200g, acquistata personalmente nel punto vendita Esselunga di Via Feltre, Milano.

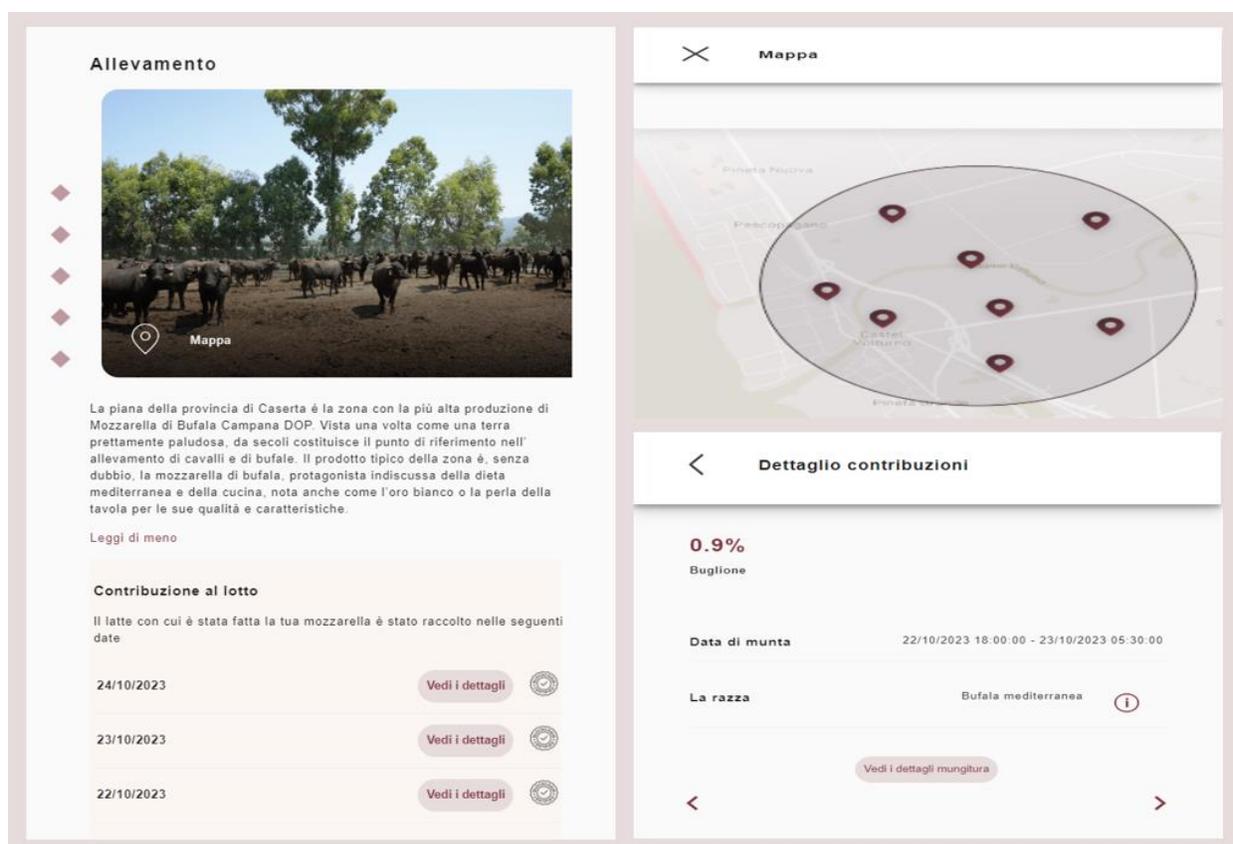


Figura 23: Informazioni condivise con il cliente (fase 1)

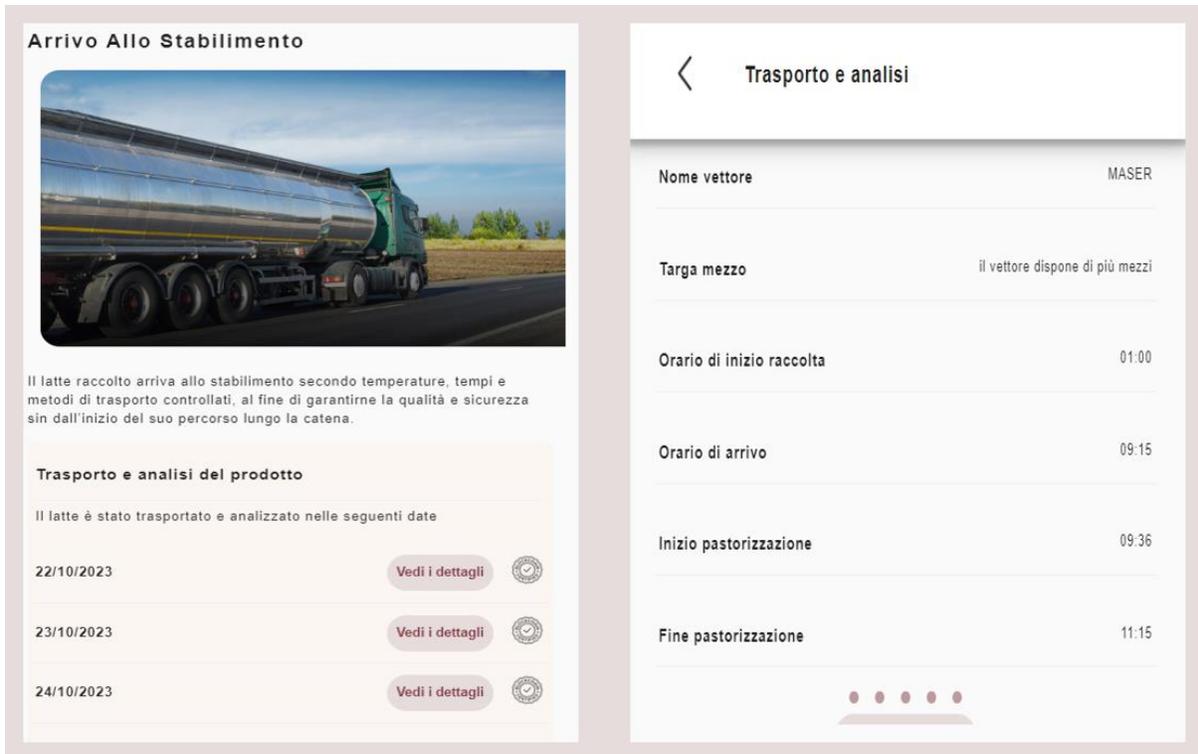


Figura 24: Informazioni condivise con il cliente (fase 2)

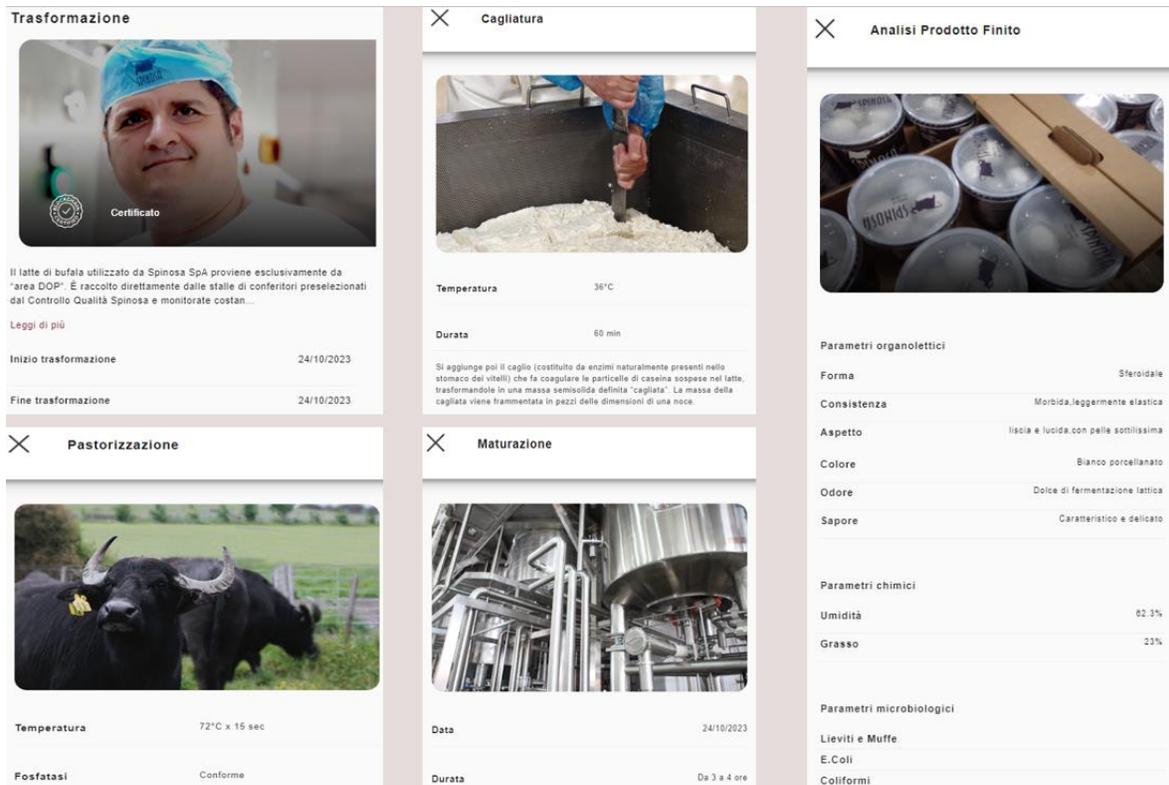


Figura 25: Informazioni condivise con il cliente (fase 3)

Distribuzione



Il trasporto della Mozzarella di Bufala appena lavorata e pronta per il consumo richiede competenza ed affidabilità durante il processo di distribuzione. La distribuzione rappresenta una parte importante di tutto il processo, il prodotto finito deve rispettare temperature prestabilite ed arrivare dal cliente nel minor tempo possibile.

[Leggi di meno](#)

Temperatura trasporto	≤ 8 °C
Uscita stabilimento	24/10/2023

Figura 26: Informazioni condivise con il cliente (fase 4)

L'utente, dopo aver consultato lo story telling delle avvenute lavorazioni e i parametri di maggior rilievo sopra indicati può facilmente verificare che ogni processo sia stato effettivamente certificato e notarizzato in blockchain. Per ogni processo infatti è presente una voce "Blockchain certified" che attesta l'avvenuta transazione.

Certificato

Trasformazione

Timestamp
2023-10-25T11:28:05.000Z

Transaction ID
0x7a138d66251f1d1ce806ae360bbe38c5275f9ef6a05fa4f3cb96bef4c242b380

n° Lotto 3297 Prodotto il 24/10/2023

Certificato sul registro pubblico

Certificato Blockchain

ID
3297

CONTENT HASH
c3808d05012465544dcb0c0d1c0b3c18b34e10929e1975838834d0700

TIME STAMP
25/10/2023 11:28:05 UTC

TRANSACTION HASH
0x7a138d66251f1d1ce806ae360bbe38c5275f9ef6a05fa4f3cb96bef4c242b380

VEDI SUL REGISTRO PUBBLICO

Verifica i dati

Informazioni contenute nella transazione

TRASFORMAZIONE PASTORIZZAZIONE CAGLIATURA MATURAZIONE ANALISI

Umidità: 62.3
% grassi: 23
Check forma: N/D
Check escherchia col: N/D
Check colliformi: N/D

ESEGUI VERIFICA

Figura 27: Certificato Blockchain

È possibile da qui, risalire al timestamp (data e ora di avvenuta transazione) è anche all'indirizzo dello smart contract creato per registrare il lotto di contribuzione latte o di prodotto finito.

Interessante il processo di verifica, grazie al quale l'utente stesso può verificare che le informazioni visualizzate risultino coerenti con quelle registrate. Il sistema verificherà i dati della transazione per l'hash del lotto selezionato e darà un feedback di esito positivo se, dopo aver calcolato il contenuto dell'hash, le informazioni consultabili sul sito e quelle registrate in blockchain trovano corrispondenza. Cliccando la voce "Vedi registro pubblico" è possibile inoltre essere indirizzati direttamente alla pagina Polygonscan. Polygonscan è un motore di ricerca per le transazioni della blockchain "Polygon", questo ultimo è un secondo layer di Ethereum, costruito per apportare alcune migliorie al suo predecessore, tra cui migliore scalabilità, velocità e riduzione dei costi di ciascuna transazione.

3.4 Bofrost Italia

Anche Bofrost Italia, azienda leader a livello mondiale nella vendita e distribuzione porta a porta di alimenti surgelati ai consumatori, nel 2019 ha selezionato EY per fornire una soluzione blockchain basata sulla piattaforma EY OpsChain Traceability. I primi prodotti oggetto della sperimentazione sono stati i Filetti di Merluzzo Nordico e gli Spicchi di Cuore di Carciofo, per i quali si è riusciti a controllare l'intera supply chain, verificare l'operato dei fornitori e garantire qualità e trasparenza.

Come ha infatti spiegato Gianluca Tesolin, amministratore delegato di Bofrost Italia, quando ha annunciato il lancio del progetto, i Filetti di Merluzzo Nordico e gli Spicchi di Cuore di Carciofo sono due dei prodotti più apprezzati fra quelli proposti "al naturale". La logica di applicazione è la stessa di quella utilizzata per l'implementazione del progetto Spinosa.

Tramite lettura del QR code e l'inserimento del codice lotto, sarà infatti possibile per il consumatore conoscere ogni informazione riguardo l'origine, la qualità e la sicurezza dei prodotti. In particolare le informazioni riguarderanno:

Pesca: caratteristiche dell'imbarcazione, attrezzatura di pesca, codice MSC per la certificazione di conformità allo standard per la pesca sostenibile, geolocalizzazione e periodo di pesca, descrizione della specie e il suo habitat;

Surgelazione: in questa sezione vengono riportati i dati riguardanti la data di surgelazione, la temperatura e la data di arrivo al porto; in generale è opportuno che non passino più di 6 ore dalla pesca alla surgelazione e che la temperatura sia inferiore ai -18°.

Confezionamento: dal porto allo stabilimento Bofrost, viene controllata la temperatura sia lungo il trasporto che allo scarico. L'utente può quindi consultare i dati relativi al controllo della temperatura e la data di conferimento;

Stoccaggio: anche in questa fase è importante monitorare i dati relativi alla temperatura di stoccaggio. I prodotti vengono monitorati ad ogni arrivo e stoccati a circa -26°;

Controllo qualità: in questa sezione l'azienda ha deciso di rendere totalmente trasparenti e fruibili i dati relativi ai controlli chimico-microbiologici sulle materie prime in arrivo e quelli effettuati per il corretto rispetto della catena del freddo. Il cliente infatti può avere completo accesso alla documentazione dettagliata riguardante il lotto in esame. In particolare, è possibile scaricare i report qualitativi firmati dai responsabili del controllo qualità che riportano i dettagli dell'analisi organolettica, l'analisi di scomposizione e l'analisi microbiologica e chimica.

Consegna: gli automezzi utilizzati per la consegna a domicilio sono dotati di termometri posti sul lato destro all'interno del rimorchio. Tramite questi sensori è possibile in qualsiasi momento controllare la temperatura di trasporto e così registrarla.

Grazie alla documentazione gentilmente messa a disposizione dal EY Blockchain HUB, siamo stati in grado di condurre un'esplorazione del funzionamento della dashboard dedicata all'inserimento dei dati per il personale impiegato presso Bofrost. Va notato che questa dashboard costituisce la fonte di dati per la landing page visualizzata dagli utenti finali. È importante sottolineare che lo stesso principio di funzionamento è applicabile anche alla dashboard di Carrefour, la quale sarà oggetto di una breve analisi in seguito.

L'interfaccia risulta estremamente intuitiva e di facile utilizzo, progettata in modo tale che qualsiasi operatore, a prescindere dal suo livello di competenza informatica, possa contribuire all'inserimento dei dati senza incontrare difficoltà.

Una volta effettuato il login, l'operatore potrà inserire tutte le informazioni che vuole registrare: informazioni sul lotto di materia prima, sul lotto di prodotto finito oppure potrà aggiungere informazioni sui controlli di qualità effettuati (Figure 28-31).

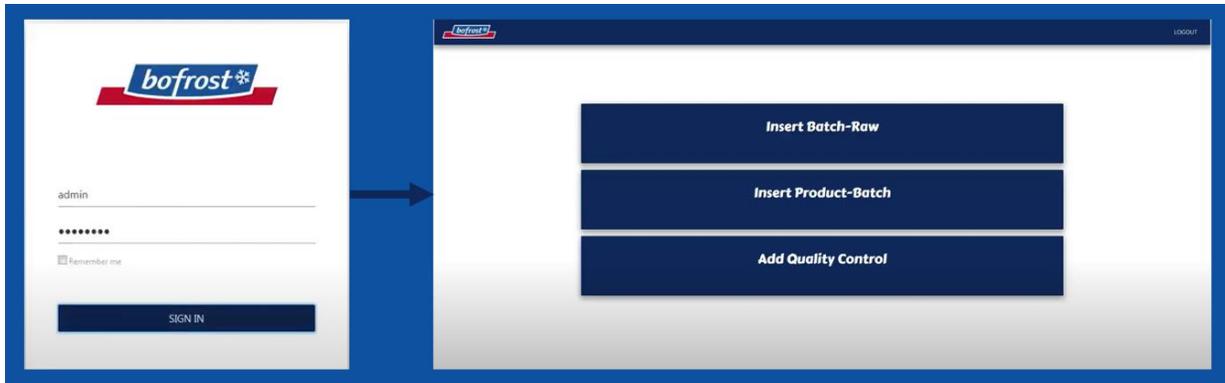


Figura 28: Interfaccia dashboard Bofrost

The image displays a form titled 'REGISTER DATA' with several input fields. The 'Batch' field contains the value '9000'. The 'Boat' field is a dropdown menu showing 'Mys Gvozdeva'. The 'MSC Code' field is labeled 'Insert MSC Code...'. The 'Fishing date' field has a placeholder 'mm / dd / yyyy'. There are three date fields: 'Delivery Date', 'Freezing Date', and 'Docking', all with the placeholder 'mm / dd / yyyy'. Below these fields is a radio button group for the question 'Is the freezing done within 6 hours from the fishing', with 'Yes' selected. At the bottom of the form is a large grey button labeled 'REGISTER DATA'.

Figura 29: Inserimento lotto di contribuzione

Batch-production number
Insert batch-production number...

Batch-raw number included
IT001
IT003
MTP001
MTP002
MTP003

Delivery Temperature
-18°

Storage Temperature
Insert storage temperature...

Packaging Date
mm / dd / yyyy

Delivery Date
mm / dd / yyyy

Description
Use this field to add information...

REGISTER DATA

Figura 30: Inserimento lotto prodotto finito

Batch-production number
IT123456

Product checks carried out? Yes No

Choose organoleptic analysis file No files selected.

Choose product analysis file No files selected.

Choose microbiological and chemical analysis file No files selected.

REGISTER DATA AND NOTARIZE

Figura 31: Inserimento controlli qualità

Come vediamo in Figura 31, la possibilità di inserimento, pubblicazione e notarizzazione della versione integrale dei report qualitativi condotti all'interno dell'organizzazione, rappresentano un'ulteriore testimonianza dell'adesione dell'azienda ad una politica di

trasparenza. Questa pratica costituisce una doppia ammissione di responsabilità da parte dell'organizzazione, la quale non si limita esclusivamente ad inserire i dati manualmente senza provarne la loro veridicità. Tale procedura rafforza la fiducia nei processi aziendali e dimostra un impegno concreto per garantire integrità e apertura totale nei confronti degli stakeholder e delle parti interessate.

3.5 Carrefour Italia

Carrefour Italia è stata la prima GDO in Italia ad applicare la tecnologia blockchain alla tracciabilità dei beni alimentari. La completa digitalizzazione della tracciabilità della catena di produzione del pollo, che viene allevato all'aperto senza l'uso di antibiotici, è diventata operativa dal settembre 2018 e coinvolge attualmente 29 aziende agricole, 2 stabilimenti di produzione di mangimi e 1 impianto di macellazione. Carrefour ha anche annunciato che la prossima filiera ad essere tracciata con la tecnologia blockchain sarà quella degli agrumi a marchio proprio [52]. Anche Carrefour, come Spinosa e Bofrost, si è unito ad EY OpsChain Traceability. La logica infatti è la stessa, il QR code sulla confezione e il codice del lotto permettono al consumatore di accedere ad un portale web sul quale consultare tutte le informazioni relative a quel prodotto: il luogo e il modo di allevamento, il nome dell'allevatore, il mangime somministrato, l'assenza di trattamento (senza antibiotici, ad esempio), il luogo di macellazione e le modalità di trasporto. È possibile inoltre accedere ai documenti certificati, rivolti a consumatori esperti e tecnici. Tutti gli attori coinvolti nella catena alimentare, compresi produttori, trasformatori e distributori, sono in grado di fornire dati di tracciabilità accurati per ciascun lotto di prodotto, che non possono essere alterati da nessuna controparte.

Dalle informazioni rilasciateci dal Blockchain HUB EY (Figura 32), le necessità che hanno spinto Carrefour ad abbracciare la tecnologia, riguardavano il grande numero di prodotti commercializzati e l'elevato numero di fornitori da gestire con conseguente

comunicazione frammentata e non completa visibilità dell'operato dei fornitori. L'azienda necessitava inoltre di efficientare il tempo speso in controlli Q&A e voleva innalzare la percezione della clientela verso i prodotti a marchio proprio.

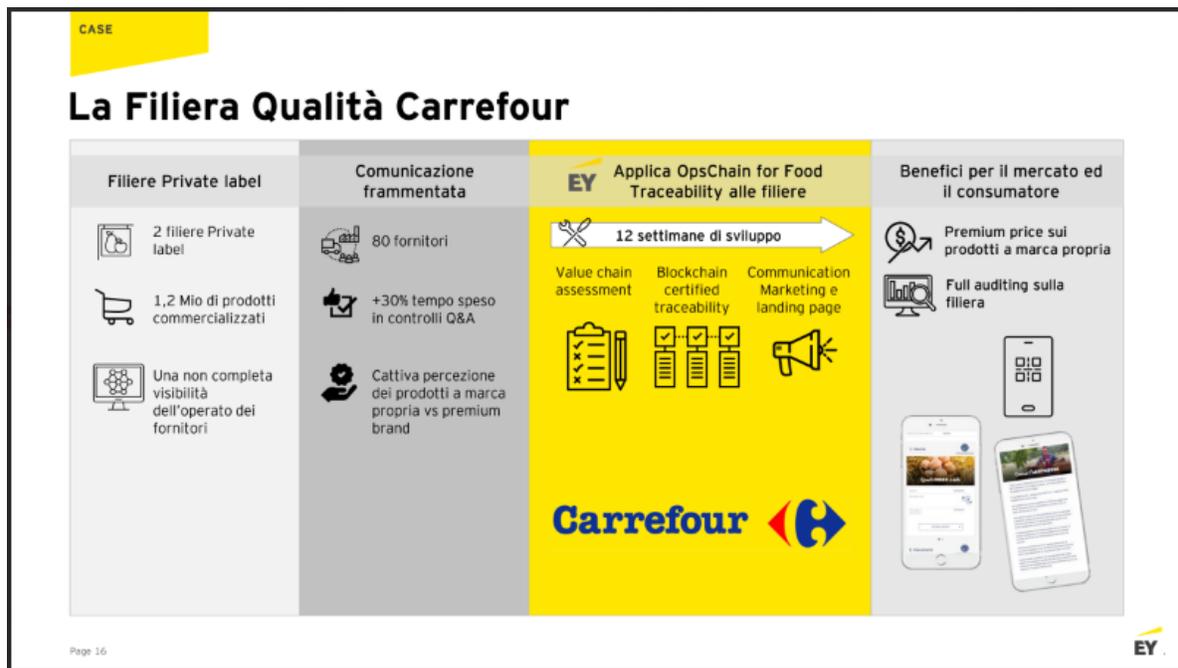


Figura 32: La filiera Qualità Carrefour. Fonte EY

Dopo poche settimane dal lancio del progetto, Giovanni Panzeri, direttore Marca del distributore di Carrefour Italia, intervistato da ilSole24Ore sottolineava i benefici riscontrati. Panzeri affermava di aver registrato per le vendite del pollo, il raddoppio dei ricavi, oltre ad un aumento delle visite alla pagina accessibile con QRcode. Questo a testimonianza della domanda di crescente qualità che arriva dai consumatori. Carrefour ha potuto beneficiare di un'efficiente dashboard per monitorare gli sviluppi della supply chain e migliorare i controlli di qualità e di garanzia del prodotto.

3.6 Lavazza S.p.a

Verso la fine del 2022, Lavazza, importante azienda italiana produttrice di caffè tostato fondata nel 1895 a Torino da Luigi Lavazza, ha lanciato il suo nuovo progetto. L'azienda ha presentato al pubblico "Noble Vulcano", la sua nuova miscela speciale del brand "1895 Coffe Designers" che sfrutta la tecnologia blockchain per garantire la sostenibilità del prodotto e la tracciabilità della filiera [53]. Per la descrizione delle diverse fasi di progettazione, abbiamo fatto riferimento ad informazioni estrapolate dai siti web aziendali dei vari attori coinvolti e in particolare ad un interessante articolo scientifico pubblicato nella rivista internazionale "Sustainability" [54].

Per l'implementazione del progetto, Lavazza ha deciso di unire le funzionalità della piattaforma xFarm con la tecnologia blockchain. XFarm è una piattaforma nata dalla necessità di poter sfruttare i vantaggi del digitale in agricoltura e di consentire agli utenti di entrare in modo più intuitivo nel nuovo mondo dell'agricoltura 4.0 e semplificare la gestione delle proprie aziende [55].

I dati inseriti nel sistema sono accessibili in diverse fasi della catena di produzione del caffè. Questi dati forniscono informazioni affidabili su tutto il processo produttivo, beneficiando Lavazza, gli agricoltori, gli agronomi e, alla fine, i consumatori.

Nel gennaio 2021, due membri del team xFarm sono stati inviati in Brasile per configurare sensori e apparecchiature al fine di raccogliere molteplici parametri climatici dell'aria e del suolo, necessari per il calcolo di specifici KPI. Questa iniziativa ha rappresentato un'opportunità per analizzare approfonditamente tutti gli elementi dei KPI selezionati che influenzano la qualità del processo. Inoltre, è stata fornita adeguata formazione riguardo alla piattaforma xfarm, per supportare gli operatori delle fattorie brasiliane a svolgere il loro lavoro quotidiano di raccolta e registrazione dei dati.

I Fazenda utilizzavano già uno strumento SAP per tracciare le operazioni agricole e di lavorazione del caffè. Inoltre disponevano di un sensore per l'irrigazione (tensiometro) ma non era integrato in alcuna piattaforma; la loro stazione meteorologica invece, presentava funzionalità legate all'IoT (Internet delle cose). Il team di xFarm ha dovuto affrontare problemi di connettività cellulare nelle aree rurali e ha lavorato con fornitori locali, come VIVO Brazil, per superare queste difficoltà. Anche la configurazione dei sensori e dei dispositivi è stata più complessa del previsto a causa della limitata copertura di rete.

In aggiunta, poiché l'azienda "1895 Coffee Designers" non aveva ancora preso una decisione riguardo alla varietà di chicchi di caffè da acquistare per il progetto di sviluppo della miscela blockchain, si sono collocati sensori nei campi più promettenti, dove era possibile coltivare le varietà più performanti con i punteggi più elevati. La scelta definitiva è stata effettuata una volta completata la fase di raccolta delle diverse varietà, intorno al settembre 2021, quando sono state selezionate le varietà Catucaí e Araara. Nelle zone selezionate, sono stati installati permanentemente sensori per la pioggia, l'umidità dell'aria, la temperatura e telecamere per il monitoraggio delle piante.

La piattaforma xFarm è stata sfruttata per la gestione di tutte le fasi dell'azienda agricola, che comprende la coltivazione, la logistica e le attrezzature agricole. I dati provenienti dai sensori potevano essere accessibili attraverso l'applicazione o il sito web della piattaforma xFarm, con un'interfaccia tradotta in portoghese per gli operatori agricoli. Al fine di semplificare e rendere più intuitiva l'interfaccia xFarm, è stata sviluppata una nuova interfaccia personalizzata che permette il monitoraggio di tutti i parametri chiave dell'azienda agricola, inclusi trattori, macchinari, sensori, campi, condizioni meteorologiche locali, colture e altro ancora, tutto da un'unica interfaccia. Inoltre, l'applicazione è stata migliorata per garantire una maggiore velocità di caricamento, con

una riduzione del tempo di caricamento del 90%, e per consentirne l'uso anche in zona con connettività Internet limitata.

È stata fornita alle aziende agricole un'innovativa tecnologia di irrigazione che utilizza dati provenienti dai sensori per calcolare in modo preciso la quantità d'acqua necessaria alle piante di caffè nelle diverse zone. Questo non ha solo migliorato l'efficienza dell'irrigazione ma ha anche contribuito a ridurre i costi operativi.

Attraverso le misurazioni dei sensori e il monitoraggio delle attività di processo nella piattaforma, è possibile calcolare automaticamente i KPI di qualità definiti da Lavazza. I KPI periodici vengono registrati automaticamente ogni 2 settimane (sensori pluviometro, sensori di temperatura dell'aria, sensori di umidità dell'aria, sensori di direzione del vento, sensori di velocità del vento e sensori di bagnatura fogliare) e misurati automaticamente dai sensori installati, mentre i KPI oneshot vengono registrati manualmente quando attivati dall'app e sono derivati da alcuni parametri di lavorazione del caffè inseriti nella piattaforma xFarm.

La blockchain utilizzata per la registrazione dei KPI è stata la nuova generazione di Algorand, una rete open-source decentralizzata costruita sulle basi di obiettivi di scalabilità e sicurezza [56].

Nella fase finale del progetto, grazie alla collaborazione con lo studio di graphic design Publicis Sapient, è stata sviluppata un'interfaccia utente molto intuitiva per i consumatori, affinché possano comprendere tutte le informazioni di tracciabilità e trasparenza messe a disposizione da questa tecnologia.

Le sei sezioni seguenti mostrano i dati che l'azienda rende disponibili ai consumatori tramite landing page aziendale o mediante accesso alla piattaforma "Algo Explorer" (motore di ricerca per la blockchain Algorand). Quelle riportate di seguito infatti, sono le informazioni recuperate dal sito web ufficiale dell'azienda [57].

Crescita: mostra il tipo di raccolta, le coordinate geografiche del luogo, le date di inizio e fine del periodo di raccolta per entrambe le varietà che compongono la miscela: Arara e Catucaí. Sono inoltre inclusi dettagli su temperatura, umidità, precipitazioni e velocità del vento. Nella Fazenda Matilde, ad Angelandia (stato brasiliano del Minas Gerais) gli agricoltori gestiscono l'umidità e ottimizzano l'irrigazione utilizzando le informazioni provenienti dai sensori nel terreno. La Fazenda Matilde, responsabile della coltivazione della varietà Arara, grazie ai sensori elettronici installati appositamente per il progetto, controlla le variazioni di umidità del suolo e la temperatura ambientale;

Raccolta: questa sezione riguarda il processo di raccolta dei chicchi, compreso il numero di chicchi raccolti, la data di ingresso nella stazione di smistamento e il livello Brix medio (quantità di zucchero);

Essiccazione: la tipologia di processo eseguito per l'essiccazione dei chicchi verdi, differisce a seconda della varietà: Naturale per Arara e Miele per Catucaí. La fase successiva è la fermentazione. I dati registrati riguardano l'umidità media dei chicchi di caffè verde dopo l'essiccazione, il tipo di processo e il tempo di fermentazione;

Qualità: in questa fase, viene assegnato un punteggio alla qualità del caffè, che verrà poi nuovamente testato al suo arrivo nell'azienda madre italiana a seguito di una degustazione. I dati resi pubblici riguardano il punteggio assegnato in fattoria, la quantità in kg di caffè selezionato e la loro dimensione;

Trasporto: all'arrivo dei chicchi allo stabilimento Lavazza, i controlli di qualità effettuati in questa fase garantiscono la coerenza delle informazioni dichiarate in fase di transito. In questa sezione viene riportato il nome della nave responsabile del trasporto insieme alle coordinate geografiche del punto di partenza e di arrivo, le date e la durata complessiva; sono inclusi anche i valori di temperatura e umidità dell'aria (medio, minimo e massimo) rilevati durante il trasporto; infine le quantità in kg di caffè verde dichiarate all'inizio del viaggio e verificate all'arrivo.

Torrefazione: questa è la fase finale del processo di trasformazione del caffè. In questa fase i chicchi si modificano cambiando colore, aumentando di volume e perdendo peso e umidità. Vengono utilizzati strumenti e sensori per rilevare la temperatura e il tempo di tostatura che verranno poi notarizzati e resi pubblici. In questa sezione è possibile consultare informazioni relative alla quantità in kg di caffè tostato, la data in cui è avvenuto il processo, il tipo di torrefazione e l'identificazione del macchinario utilizzato. Le ultime fasi di stoccaggio e trasporto per il momento non sono state incluse nel progetto, ma essendo un progetto giovane è facile aspettarsi ulteriori sviluppi.

3.7 TATTOO WINE

La startup Blockchain Wine Ltd. Fondata nel 2018, con sede a Singapore, ha collaborato con la piattaforma blockchain EY OpsChain per creare il mercato TATTOO Wine. L'obiettivo primario era la promozione e la vendita di vini di alta qualità in tutto il mondo, con particolare attenzione ai mercati in Cina, Giappone, Corea del Sud, Thailandia e Singapore, dove il consumo di vini europei è in rapida crescita [58]. Il progetto ha portato allo sviluppo di una piattaforma di e-commerce rivoluzionaria che usa la tecnologia blockchain per la filiera del vino e combina tracciabilità e tokenizzazione. Il sistema opera tramite blockchain pubblica Ethereum, garantendo che nessuna delle parti abbia il controllo assoluto, favorendo un incremento della fiducia nell'integrità dei dati e consentendo ai nuovi collaboratori di unirsi in modo semplice ed economico alla rete. Aspetto peculiare del progetto, è proprio l'idea di tokenizzare gli acquisti e le vendite di vino, pianificare e monitorare le spedizioni, seguire lo stoccaggio e la distribuzione. Supportati dalla piattaforma blockchain EY OpsChain, i consumatori possono acquistare vini premium sotto forma di token digitali che identificano i vini acquistati[59]. I token (bottiglie legate univocamente ai lotti di produzione registrati su Ethereum) vengono scambiati con token fungibili (TATTOO Token) che rappresentano il pagamento effettuato con valuta tradizionale. La blockchain incorpora strumenti di

gestione che offrono a distributori e consumatori la possibilità di utilizzare i token per effettuare ordini direttamente sulla piattaforma TATTOO, consentendo un tracciamento in tempo reale delle spedizioni e del processo di sdoganamento. La tokenizzazione delle bottiglie permette di raccogliere i dati della supply chain, permettendo di verificare in modo completamente digitale alcuni processi come l'automazione degli approvvigionamenti e gli ordini di inventario. Ogni bottiglia di vino è "tatuata" con il proprio codice QR univoco e, mediante la scansione dello stesso, è possibile accedere a tutte le informazioni utili per conoscere il processo.

Per i vini rari, si prevede di includere un sigillo NFC frangibile all'interno del tappo del vino. Una volta aperta la bottiglia, il chip è danneggiato e le informazioni su quella bottiglia non possono più essere lette o scritte fornendo un ulteriore livello di protezione contro i contraffattori [60]. La figura 33 mostra in modo semplice e visivamente intuitivo l'idea di EY alla base del progetto.

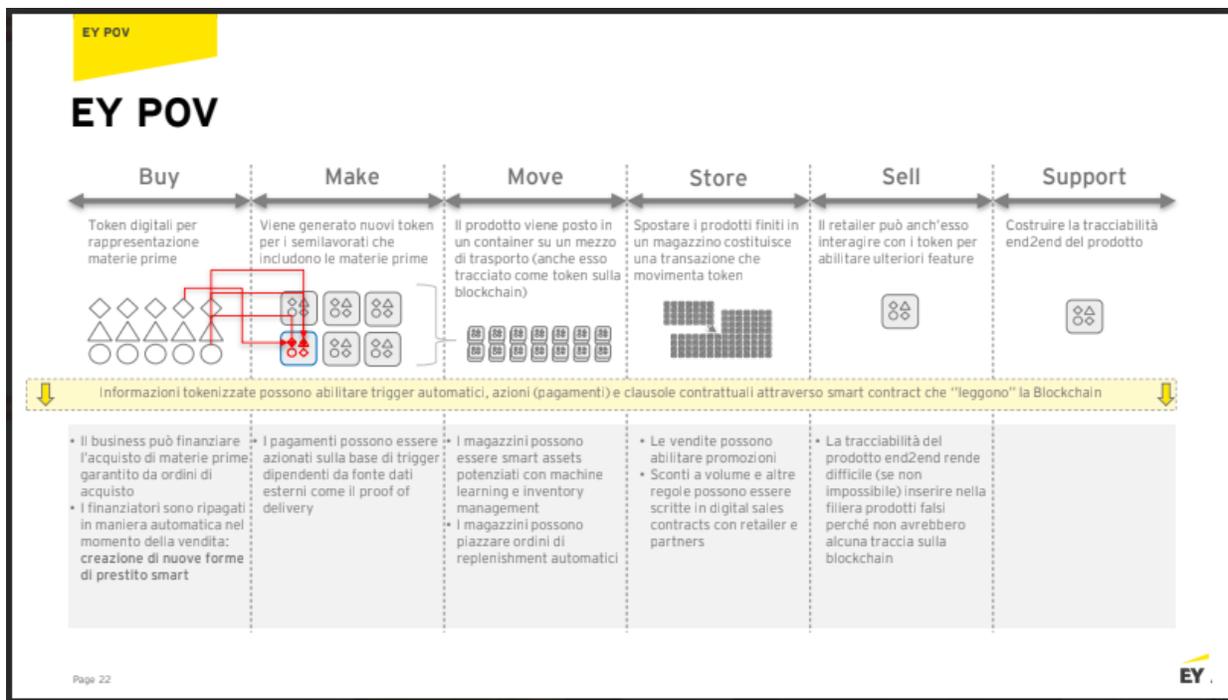


Figura 33: Tokenizzazione delle informazioni. Fonte EY

CONCLUSIONI E SFIDE FUTURE

Nel corso di questo lavoro di tesi, ci siamo dedicati all'approfondimento del ruolo della digitalizzazione nella tracciabilità del settore agroalimentare, identificando criticità e prospettive che plasmano il futuro della filiera. Innanzitutto, è innegabile che la trasparenza e l'accuratezza nella tracciabilità della filiera agroalimentare siano ormai irrinunciabili.

La tecnologia blockchain, con la sua struttura decentralizzata ed immutabile, si erge come promettente custode dell'integrità delle informazioni. Per una tracciabilità che risponda adeguatamente ai bisogni del mercato però, non è sufficiente archiviare e poi registrare il dato in blockchain in modo manuale, perché tale registrazione, seppur supportata da database appositamente formulati, potrebbe generare errori e non garantirebbe la veridicità delle informazioni condivise. Pertanto, abbiamo sottolineato l'utilità di associare alla BCT gli strumenti dell'industria 4.0 consentendo la registrazione automatica dei dati.

La digitalizzazione dei processi pone notevoli sfide in termini di investimenti e implementazione, soprattutto nelle filiere che coinvolgono paesi poco industrializzati. È importante considerare che gli operatori nel settore agroalimentare potrebbero mancare della formazione necessaria e mostrare resistenze all'adozione di sistemi innovativi.

Abbiamo analizzato dei casi studio di successo che hanno superato tali barriere, dimostrando che l'innovazione è possibile se appositamente progettata; le soluzioni attualmente disponibili sono prevalentemente in fase pilota, acquisendo maggiori informazioni sulla sua potenziale applicazione futura.

In questa fase dello sviluppo, l'impatto della blockchain sulla gestione della filiera agroalimentare non si traduce in un decentramento, ma rafforza le reti esistenti. In pratica, un'azienda focale assume la responsabilità della gestione della catena di

approvvigionamento e richiede ai fornitori di partecipare a una rete di filiera equipaggiata con blockchain[9].

Il futuro prossimo risiede nella digitalizzazione di tutti i processi ma servono linee guida per una soluzione che possa essere universalmente valida. Si pensi ad un fornitore di materie prime che ha come clienti più aziende di trasformazione, è complicato pensare che possa adeguarsi a sistemi di tracciabilità differenti a seconda dell'azienda che serve.

Affinché la tracciabilità delle filiere alimentari diventi una realtà con benefici condivisi, l'uso delle tecnologie deve diventare universale. Sensori di umidità, di posizione, di pressione e sistemi di etichettatura e di lettura devono consentire flussi informativi standardizzati, condivisi e sincronizzati per garantire un accesso universale a tutte le parti coinvolte nella filiera, seguendo gli stessi standard di tracciabilità.

L'idea di base è che non basta sviluppare una soluzione proprietaria per ciascuna impresa. Non è sufficiente che un'unica impresa utilizzi un software o un database per archiviare le informazioni, imponendo poi ai propri fornitori o subfornitori di adottare lo stesso approccio per l'inserimento delle informazioni che verranno successivamente notarizzate sulla blockchain. Questo approccio centralizzerebbe comunque il ruolo dell'impresa principale nell'impartire direttive alle altre, portando ad una mancanza di omogeneità nelle soluzioni adottate da ciascuna organizzazione e impedendo il raggiungimento di una standardizzazione dei processi di tracciabilità.

L'idea che si prospetta è la necessità di un mezzo che consenta la comunicazione tra i diversi software aziendali, in questo modo anche il consumatore dovrebbe poter tracciare nello stesso modo tutti i prodotti.

A titolo esemplificativo si può menzionare il progetto Baseline Microsoft Dynamics 365 che potrebbe rappresentare la sfida per il futuro.

L'obiettivo che l'iniziativa si pone è quello di integrare i sistemi informativi di tutte le aziende coinvolte in qualsiasi settore, creando un'ecosistema di dati condivisi e certificati, permettendo ai diversi sistemi di "comunicare" tra loro e sincronizzarsi

condividendo in tempo reale i dati di qualsiasi natura, nel contesto di nostro interesse ad esempio potrebbe trattarsi di dati di qualità lungo l'intera catena produttiva. Riprendendo quanto spiegato durante l'evento inaugurale "AmsterBased" trasmesso in live streaming il giorno 20 aprile 2022 [61], *Baseline è uno standard che consente a due o più state machines di raggiungere e mantenere la coerenza dei dati e la continuità del flusso di lavoro, utilizzando una rete come quadro di riferimento comune. Un insieme di strumenti e librerie che aiutano le aziende a coordinare processi e flussi di lavoro aziendali complessi e multilaterali nel rispetto della privacy e mantenendo i dati in sistemi di record.* I requisiti del protocollo suggeriscono fortemente l'uso di una blockchain pubblica o di una rete Layer-2 ancorata ad una blockchain pubblica [62].

Questo progetto potrebbe essere la giusta chiave per risolvere quella che era una delle principali sfide identificate: l'importanza dell'interoperabilità tra diverse blockchain e sistemi di tracciabilità digitale. La necessità di sviluppare standard comuni e protocolli di comunicazione è cruciale per garantire una coerenza e una condivisione efficace dei dati lungo l'intera catena di approvvigionamento, facilitando così la collaborazione tra i differenti attori del settore.

In sintesi, affrontare le lacune attuali nel settore agroalimentare per migliorare la tracciabilità lungo l'intera filiera agroalimentare, richiede innanzitutto una strategia basata sulla digitalizzazione completa dei processi attraverso l'implementazione degli strumenti dell'industria 4.0. Questo permetterebbe di garantire l'autenticità dei dati raccolti. Per assicurare l'immutabilità e la trasparenza delle informazioni invece, l'impiego di sistemi decentralizzati come la tecnologia blockchain emerge come la soluzione più affidabile in termini di sicurezza e tutela della privacy. Inoltre, la sincronizzazione e la condivisione sicura dei dati attraverso l'interoperabilità dei sistemi rappresenterebbero un valore aggiunto fondamentale per un sistema di tracciabilità efficiente.

RINGRAZIAMENTI

Questa tesi è realizzata nell'ambito del progetto NODES, finanziato dal MUR sui fondi M4C2 - Investimento 1.5 Avviso "Ecosistemi dell'Innovazione", nell'ambito del PNRR finanziato dall'Unione europea – NextGenerationEU (Grant agreement Cod. n.ECS00000036).

A conclusione della mia ricerca accademica, desidero esprimere profonda gratitudine e ammirazione al mio relatore, il Professor Maurizio Galetto, e alla mia correlatrice, la Professoressa Elisa Verna. Fin dai tempi in cui frequentavo il corso di Ingegneria della Qualità tenuto dal Professor Galetto, ho sempre nutrito una sincera stima nei confronti del suo impegno accademico. La sua concretezza, pacatezza e scrupolosa attenzione ai dettagli hanno costantemente catturato la mia ammirazione.

Desidero ringraziare il Professor Galetto per aver prontamente accolto la mia richiesta di collaborazione e per aver ascoltato le mie richieste indirizzandomi verso un argomento di grande interesse personale.

Esprimo profonda riconoscenza anche nei confronti della Professoressa Elisa Verna per la fiducia dimostrata nelle mie capacità. Ha svolto un ruolo di guida attenta e presente, permettendomi al contempo di lavorare con autonomia, consentendomi di coltivare al meglio il mio interesse nel campo e stimolandomi a raggiungere sempre standard qualitativi più elevati. La ringrazio inoltre per aver creato un ambiente di lavoro armonioso, fornendomi il suo supporto quando necessario, ma agendo dietro le quinte per permettermi di esprimere liberamente le mie idee.

Esprimo gratitudine ad entrambi in quanto il risultato soddisfacente e l'interesse suscitato da questo lavoro di ricerca sono sicuramente frutto della loro preziosa guida e collaborazione.

Desidero manifestare la mia riconoscenza a Gerardo Volpone per il suo prezioso contributo, fornendomi consigli illuminanti, preziose indicazioni e stimoli per

l'approfondimento della materia. La sua profonda esperienza in questo settore e la sua fervida passione hanno costituito un'opportunità per esplorare un mondo per me nuovo ed affascinante, consentendomi di analizzare da vicino e concretamente i progetti attuali e potenzialmente futuri delle aziende coinvolte.

Per poter ringraziare al meglio tutti coloro che mi hanno supportata durante il mio percorso accademico non basterebbe un libro ma cercherò di essere concisa e allo stesso tempo di non dimenticare nessuno.

Ringrazio in primis la mia meravigliosa famiglia, pilastro essenziale, riferimento costante, esempio di vita. Quanta ammirazione per i miei genitori che da sempre ci hanno inculcato l'importanza di puntare in alto, fare sempre meglio, sognare, andare oltre gli ostacoli ed affermarci.

Grazie papi per la tua leggerezza, mi sento costantemente al sicuro perché so che ci sei, e non ho mai paura perché ho la certezza di poter contare sul tuo supporto in qualsiasi momento. Nel tempo abbiamo creato un linguaggio in codice anche se non sempre funziona e fai troppo ridere quando spesso non capisci certi segnali e bisogna spiegarti le cose mille volte. In molti dicono che sono la tua fotocopia ed effettivamente per certi versi mi rivedo molto in te e sono orgogliosa quando racconto di te a chi non ti conosce con gli occhi innamorati.

Grazie mamma, essenziale. Non so come spiegare l'importanza della tua presenza nella mia vita. Posso dire che la tua fermezza in certe situazioni, la tua pazienza nel comprendermi, la tua testardaggine e il tuo amore incondizionato hanno forgiato la persona che sono oggi. A volte la tua forte sensibilità si scontra con la mia freddezza nell'affrontare alcune situazioni ma ti amo più della mia vita e farò di tutto per renderti orgogliosa e felice. Tu e papi, nella vostra diversità, avete creato una famiglia folle ma indiscutibilmente affiatata e unica. Se dovessi scegliere dove nascere, sceglierei esattamente voi!

Grazie Lalla. Prima ero io a dirti “attenda Aua”, ora sono più frequenti le volte in cui succede il contrario. Sei un punto fermo, la persona su cui potrò contare per sempre. Il tuo stare con i piedi per aria e la tua poca concretezza sono spesso in contrapposizione al mio modo di fare e di pensare ma ci completiamo alla grande e mi hai insegnato a non aver paura. Grazie a te ho avuto il coraggio di portare a termine il mio percorso universitario. Mi sembrava impossibile e non ti sopportavo quando costantemente mi ripetevi che avrei dovuto continuare e che non era pensabile che mi fermassi. Mi hai dato la forza per affrontare tutto e continui a farlo ogni giorno. Ti auguro di continuare a fare quello che ti piace e di essere orgogliosa e soddisfatta della tua vita e dei tuoi traguardi. Ho sempre ammirato la tua intraprendenza e il tuo coraggio, sin da bambina, quando ti ergevi a paladina della giustizia per difendermi... e pensare che avevi solo 4 anni in più di me.

Grazie a Ruggiero, un fratello da tempo ormai. L'uomo perfetto per mia sorella, prima che ti scegliesse lei ti ho scelto io. Sei entrato nella nostra famiglia incasinata in punta di piedi e ora sei parte di noi. Sei così intelligente, razionale, curioso, attento e affettuoso che non potevo chiedere di meglio per la persona più importante della mia vita.

Grazie al mio super, incredibile, speciale, divertente, imbranato e dolcissimo Gensa! Tu sei un'entità misteriosa, non riesco ancora a capire come la natura abbia fatto a renderti così imperfettamente perfetto. Il tuo modo di affrontare la vita è un esempio da sempre, porti allegria e sorrisi in qualsiasi momento. Grazie perché se ho portato a termine questo percorso è anche molto merito tuo che ogni volta mi tiravi su il morale con balletti e risate imbarazzati. Grazie perché qualsiasi ostacolo che la vita ci ha messo di fronte sei riuscito ad alleggerirlo con la tua follia. Ti auguro di fare grandi cose e sfruttare appieno il tuo potenziale, ti auguro la vita dei tuoi sogni, ovviamente sempre con le tue sorelle affianco!

Un grazie speciale al mio bellissimo Gigi che non mi chiede di essere nient'altro che la persona che sono, con i miei pregi e soprattutto i miei difetti. Perché l'amore non deve cambiare o togliere, ma deve apprezzare e aggiungere, deve lasciare i propri spazi senza essere invadente, deve far ridere e gioire. In ruoli diversi ci sei sempre stato, dai traguardi piccoli a quelli grandi. Grazie perché mi sei stato vicino con pazienza e costanza, dimostrandomi la tua presenza in modi diversi e gradualmente. Grazie perché quando sono con te mi sento serena, spensierata e piccola. Grazie perché trovi sempre il modo per regalarmi una buona dose di allegria e risate. Auguro a noi due, di continuare a condividere le gioie della vita perché siamo uno la spalla dell'altro e sarebbe difficile fare altrimenti ormai.

Irrrinunciabili i ringraziamenti ai miei amici, quelli conosciuti in università e gli amici di una vita. Ringrazio i "macchè veramend" grazie ai quali Milano è diventata casa. Ringrazio le mie due belle Roberta che mi supportano da quando cantavo Laura Pausini agli spettacoli di Cirillo. La nostra complicità va oltre l'essere cugine ed è emozionante pensare che qualsiasi episodio caratterizzante la mia vita sia in qualche modo legato a voi.

Grazie a Federico, il mio amicone per eccellenza. Quel braccio ingessato del primo anno, conseguenza delle tue strane avventure, è stato il motivo della nostra amicizia, quindi te lo romperevo altre mille volte. Da subito avevo capito la persona speciale che eri, una luce diversa negli occhi, una voglia di vivere la vita al meglio. Coltivare la tua amicizia è stata la cosa più giusta che io potessi fare.

Grazie alla mia meravigliosa coinquilina Alessandra, la coinquilina di via Pordenone. Con te ho iniziato il percorso universitario a Torino e anche grazie a te l'ho terminato. Sei stata indispensabile per la mia ripresa degli studi, un riferimento essenziale. La mia consigliera e la mia segretaria, informatissima su tutto e sempre pronta a darmi consigli preziosi. Ti ho visto crescere e maturare tanto in questi anni, sei una donna ormai. Dacci dentro Ingegnere!

Grazie a Federica Napo, conosciuta tra i banchi universitari, diventata la mia coinquilina e poi mia sorella. Non sono mai stata legata così intensamente a qualcuno come a te.

Grazie a Nicoletta, Erica e il grande ed indescrivibile Salvo con i quali ho vissuto i momenti più iconici della mia vita universitaria a Torino.

Grazie alle signorine Cautillo: Stefania, Silvia e la piccola Miry. Voi siete famiglia!

Grazie a chi mi ha insegnato a “mangiare l’elefante un morso alla volta”, hai saputo cambiare il mio modo di avvicinarmi alla vita e te ne sarò sempre grata.

Grazie a chi non c’è più ma è parte integrante di me, cercherò di mettere sempre in pratica i valori che mi avete insegnato.

Per ultimo ma il più importante in assoluto: Fagiolino! Il mio primo nipotino. Ancora nella pancia ma già parte di noi, tua zia sta impazzendo al solo pensiero del tuo arrivo. Mi impegnerò ad essere la mia migliore versione per cercare di accompagnarti sempre, in qualsiasi momento della tua vita.

Infine grazie a me, perché in fondo ci ho sempre creduto. Perché cerco di impegnarmi sempre con il massimo delle mie forze. Perché sorrido alla vita e provo a prendere sempre il buono che c’è. Mi auguro passo dopo passo di raggiungere gli obiettivi che mi sono prefissata con determinazione e senza demoralizzarmi mai.

BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Corallo, R. Paiano, A. L. Guido, A. Pandurino, M. E. Latino, and M. Menegoli, "Intelligent monitoring Internet of Things based system for agri-food value chain traceability and transparency: A framework proposed," in *2018 IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS)*, IEEE, 2018, pp. 1–6.
- [2] I. C. Pappa, C. Iliopoulos, and T. Massouras, "What determines the acceptance and use of electronic traceability systems in agri-food supply chains?," *J Rural Stud*, vol. 58, pp. 123–135, 2018.
- [3] Directorate-General for Agriculture and Rural Development, "MONITORING EU AGRI-FOOD TRADE," 2023. Accessed: Oct. 13, 2023. [Online]. Available: https://agriculture.ec.europa.eu/international/agricultural-trade/trade-and-international-policy-analysis_en
- [4] T. Taranya Reddy, Y. Rama Devi, and G. Kavita, "Logistics, traceability in food supply chain management," in *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, Jun. 2023. doi: 10.1051/e3sconf/202339101075.
- [5] H. Feng, X. Wang, Y. Duan, J. Zhang, and X. Zhang, "Applying blockchain technology to improve agri-food traceability: A review of development methods, benefits and challenges," *J Clean Prod*, vol. 260, p. 121031, 2020.
- [6] T. Taranya Reddy, Y. Rama Devi, and G. Kavita, "Logistics, traceability in food supply chain management," in *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, Jun. 2023. doi: 10.1051/e3sconf/202339101075.
- [7] S. Nakamoto and A. Bitcoin, "A peer-to-peer electronic cash system," *Bitcoin*.—URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>, vol. 4, no. 2, p. 15, 2008.

- [8] L. Lee, "New Kids on the Blockchain: How Bitcoin's Technology Could Reinvent the Stock Market," 2016.
- [9] M. P. Kramer, L. Bitsch, and J. Hanf, "Blockchain and its impacts on agri-food supply chain network management," *Sustainability*, vol. 13, no. 4, p. 2168, 2021.
- [10] Szabo N., "Smart contracts: building blocks for digital markets," *EXTROPY: The Journal of Transhumanist Thought*, 1996.
- [11] K. Christidis and M. Devetsikiotis, "Blockchains and smart contracts for the internet of things," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 2292–2303, 2016.
- [12] B. K. Mohanta, S. S. Panda, and D. Jena, "An overview of smart contract and use cases in blockchain technology," in *2018 9th international conference on computing, communication and networking technologies (ICCCNT)*, IEEE, 2018, pp. 1–4.
- [13] T. Bosona and G. Gebresenbet, "The Role of Blockchain Technology in Promoting Traceability Systems in Agri-Food Production and Supply Chains," *Sensors*, vol. 23, no. 11. MDPI, Jun. 01, 2023. doi: 10.3390/s23115342.
- [14] X. Yang, M. Li, H. Yu, M. Wang, D. Xu, and C. Sun, "A Trusted Blockchain-Based Traceability System for Fruit and Vegetable Agricultural Products," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 36282–36293, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3062845.
- [15] E. Keerthivasan, K. R. Vignesh, D. Shinthan, S. N. Kumar, R. Subha, and M. Suchithra, "A Trusted Blockchain Based Traceability System for Fruits and Vegetable Agricultural Products," in *2022 8th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*, IEEE, 2022, pp. 2041–2046.

- [16] F. Tian, "An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology," in *2016 13th international conference on service systems and service management (ICSSSM)*, IEEE, 2016, pp. 1–6.
- [17] F. Tian, "A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things," in *2017 International conference on service systems and service management*, IEEE, 2017, pp. 1–6.
- [18] C. Xu, K. Chen, M. Zuo, H. Liu, and Y. Wu, "Urban fruit quality traceability model based on smart contract for Internet of Things," *Wirel Commun Mob Comput*, vol. 2021, pp. 1–10, 2021.
- [19] *2023 18th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*. IEEE, 2023.
- [20] K. Salah, N. Nizamuddin, R. Jayaraman, and M. Omar, "Blockchain-based soybean traceability in agricultural supply chain," *Ieee Access*, vol. 7, pp. 73295–73305, 2019.
- [21] D. Tse, B. Zhang, Y. Yang, C. Cheng, and H. Mu, "Blockchain application in food supply information security," in *2017 IEEE international conference on industrial engineering and engineering management (IEEM)*, IEEE, 2017, pp. 1357–1361.
- [22] K. Leng, Y. Bi, L. Jing, H.-C. Fu, and I. Van Nieuwenhuyse, "Research on agricultural supply chain system with double chain architecture based on blockchain technology," *Future Generation Computer Systems*, vol. 86, pp. 641–649, 2018.
- [23] M. P. Caro, M. S. Ali, M. Vecchio, and R. Giaffreda, "Blockchain-based traceability in Agri-Food supply chain management: A practical implementation," in *2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture-Tuscany (IOT Tuscany)*, IEEE, 2018, pp. 1–4.

- [24] R. C. Koirala, K. Dahal, and S. Matalonga, "Supply chain using smart contract: A blockchain enabled model with traceability and ownership management," in *2019 9th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence)*, IEEE, 2019, pp. 538–544.
- [25] G. Baralla, S. Ibba, M. Marchesi, R. Tonelli, and S. Missineo, "A blockchain based system to ensure transparency and reliability in food supply chain," in *Euro-Par 2018: Parallel Processing Workshops: Euro-Par 2018 International Workshops, Turin, Italy, August 27-28, 2018, Revised Selected Papers 24*, Springer, 2019, pp. 379–391.
- [26] Q. Lin, H. Wang, X. Pei, and J. Wang, "Food safety traceability system based on blockchain and EPCIS," *IEEE access*, vol. 7, pp. 20698–20707, 2019.
- [27] A. Arena, A. Bianchini, P. Perazzo, C. Vallati, and G. Dini, "BRUSCHETTA: An IoT blockchain-based framework for certifying extra virgin olive oil supply chain," in *2019 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)*, IEEE, 2019, pp. 173–179.
- [28] M. A. Fernandes, E. F. Cruz, and A. M. R. Da Cruz, "Smart contract and web DApp for traceability in the olive oil production chain," in *2022 17th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, IEEE, 2022, pp. 1–6.
- [29] S. F. Eletter, G. A. Elrefae, T. Yasmin, A. Qasem, A. R. Alshehadeh, and A. Belarbi, "Leveraging Blockchain-Based Smart Contracts in the Management of Supply Chain: Evidence from Carrefour UAE," in *2022 International Arab Conference on Information Technology (ACIT)*, IEEE, 2022, pp. 1–5.
- [30] P. Gazzola, E. Pavione, A. Barge, and F. Fassio, "Using the Transparency of Supply Chain Powered by Blockchain to Improve Sustainability Relationships with

Stakeholders in the Food Sector: The Case Study of Lavazza,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 10, May 2023, doi: 10.3390/su15107884.

- [31] L. Malassis, “Economie de la consommation et de la production agro-alimentaire,” *(No Title)*, 1973.
- [32] H. Nguyen and L. Do, “The Adoption of Blockchain in Food Retail Supply Chain: Case: IBM Food Trust Blockchain and the Food Retail Supply Chain in Malta,” 2018.
- [33] I. M.-M. de Oca, M. Snoeck, H. A. Reijers, and A. Rodríguez-Morffi, “A systematic literature review of studies on business process modeling quality,” *Inf Softw Technol*, vol. 58, pp. 187–205, 2015.
- [34] A. Corallo, R. Paiano, A. L. Guido, A. Pandurino, M. E. Latino, and M. Menegoli, “Intelligent monitoring Internet of Things based system for agri-food value chain traceability and transparency: A framework proposed,” in *2018 IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS)*, IEEE, 2018, pp. 1–6.
- [35] A. Anand, S. Fosso Wamba, and D. Gnanzou, “A literature review on business process management, business process reengineering, and business process innovation,” in *Enterprise and Organizational Modeling and Simulation: 9th International Workshop, EOMAS 2013, Held at CAiSE 2013, Valencia, Spain, June 17, 2013, Selected Papers 9*, Springer, 2013, pp. 1–23.
- [36] S. Roser and B. Bauer, “A categorization of collaborative business process modeling techniques,” in *Seventh IEEE International Conference on E-Commerce Technology Workshops*, IEEE, 2005, pp. 43–51.
- [37] R. Koncevičs, L. Peņicina, A. Gaidukovs, M. Dargis, R. Burbo, and A. Auziņš, “Comparative Analysis of Business Process Modelling Tools for Compliance Management Support,” *Applied Computer Systems*, vol. 21, no. 1, pp. 22–27, 2017.

- [38] J. Teixeira, M. Y. Santos, and R. J. Machado, "Business process modeling languages and their data representation capabilities," in *2018 International Conference on Intelligent Systems (IS)*, IEEE, 2018, pp. 685–691.
- [39] E. Grigoroudis and M. Doumpos, *Operational Research in Business and Economics*. Springer, 2021.
- [40] C. U. Ciborra, "De profundis? Deconstructing the concept of strategic alignment," *Scandinavian journal of information systems*, vol. 9, no. 1, p. 2, 1997.
- [41] R. Morais, A. M. R. Da Cruz, and E. F. Cruz, "Towards a Blockchain-based Traceability Platform for the Fruit and Vegetables Value Chain," in *2023 18th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, IEEE, 2023, pp. 1–6.
- [42] X. Sun, Z. Pan, and E. Bertino, *Artificial Intelligence and Security: 5th International Conference, ICAIS 2019, New York, NY, USA, July 26–28, 2019, Proceedings, Part IV*, vol. 11635. Springer, 2019.
- [43] Gazzetta del Mezzogiorno, "Herdonia, al via la tutela e la valorizzazione dell'antico sito dauno," *La Gazzetta del Mezzogiorno*, May 2022.
- [44] Forbes, "Cantina Placido Volpone <https://forbes.it/eccellenza/cantina-placido-volpone/>," *Forbes*, 2017, Accessed: Oct. 28, 2023. [Online]. Available: <https://forbes.it/eccellenza/cantina-placido-volpone/>
- [45] Nathan Wajzman, Carolina Arias Burgos, and Christopher Davies, "Il costo economico della violazione dei diritti di proprietà intellettuale nel settore degli alcolici e dei vini," Jul. 2016, [Online]. Available: https://euipo.europa.eu/tunnel-web/secure/webdav/guest/document_library/observatory/resources/research-and-studies/ip_infringement/study8/wines_and_spirits_it.pdf

- [46] EzLab, "Sito Web Ufficiale EzLab <https://www.ezlab.it/it/chi-siamo/>." Accessed: Oct. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.ezlab.it/it/chi-siamo/>
- [47] Sandra Osti, "AgriOpenData, l'Internet of Things al servizio dell'agricoltura," Apr. 05, 2016. Accessed: Oct. 28, 2023. [Online]. Available: <https://terraevita.edagricole.it/notizie-dalle-aziende/agriopendata-linternet-of-things-al-servizio-dellagricoltura/>
- [48] "Agri Open Data official Website." Accessed: Oct. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.agriopendata.it/it/index>
- [49] Ez Lab, "Laboratorio EZ (2017). Arriva Wine Blockchain per la Territorialità, Autenticità e Qualità del Prodotto." Accessed: Oct. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.ezlab.it/news/arriva-wine-blockchain-per-la-territorialita-autenticita-e-qualita-del-prodotto/>
- [50] Spinosa S.p.a, "Official website: Azienda Spinosa S.P.A." Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: <https://www.spinospa.com/azienda/>
- [51] Comunicato stampa EY, "EY Ops Chain industrializza la blockchain su larga scala per le imprese." Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: https://www.ey.com/en_gl/news/2019/04/ey-ops-chain-industrializes-the-blockchain-at-scale-for-enterprises
- [52] G. Panzeri and D. MDD Carrefour, "Carrefour, la prima GDO in Italia che utilizza la blockchain per tracciare gli alimenti di qualità." [Online]. Available: www.carrefour.it
- [53] Beverfood.com, "1895 Coffee Designers by Lavazza presenta Noble Volcano, blend che sfrutta la tecnologia 'blockchain,'" *Beverfood.com*, Oct. 2022, Accessed: Nov. 01, 2023. [Online]. Available: <https://www.beverfood.com/1895-coffee-designers-by-lavazza-noble-volcano-blend-sfrutta-tecnologia-blockchain-wd/>

- [54] P. Gazzola, E. Pavione, A. Barge, and F. Fassio, "Using the Transparency of Supply Chain Powered by Blockchain to Improve Sustainability Relationships with Stakeholders in the Food Sector: The Case Study of Lavazza," *Sustainability*, vol. 15, no. 10, p. 7884, 2023.
- [55] xfarm.ag, "Tutta la potenza dell'agricoltura digitale in un'unica app," xFarm Official Website. Accessed: Nov. 01, 2023. [Online]. Available: <https://xfarm.ag/azienda/>
- [56] F. Benhamouda, E. Blum, J. Katz, D. Leung, J. Loss, and T. Rabin, "Analyzing the Real-World Security of the Algorand Blockchain," *Cryptology ePrint Archive*, 2023.
- [57] 1895 byLavazza, "Blockchain 1895," landing page-blockchain1895. Accessed: Nov. 01, 2023. [Online]. Available: https://www.1895bylavazza.com/en_IT/landing/blockchain-1895.html
- [58] "Nasce TATTOO WINE, piattaforma e-commerce del vino per il mercato cinese," *ECOMMERCE MONITOR*, Aug. 28, 2019. Accessed: Nov. 01, 2023. [Online]. Available: <https://ecommercemonitor.it/2019/08/nasce-tattoo-wine-piattaforma-e-commerce-del-vino-per-il-mercato-cinese/>
- [59] Burgess B., "EY Blockchain platform supports Blockchain Wine Pte. Ltd. to launch TATTOO Wine marketplace across Asia Pacific.," EY Press Releases. Accessed: Nov. 01, 2023. [Online]. Available: https://www.ey.com/en_gl/news/2019/11/ey-blockchain-platform-supports-blockchain-wine-pte-ltd-to-launch-tattoo-wine-marketplace-across-asia-pacific
- [60] C. G. Schmidt, M. Klöckner, and S. M. Wagner, "Blockchain for Supply Chain Traceability: Case Examples for Luxury Goods," *Digital Business Models in Industrial Ecosystems: Lessons Learned from Industry 4.0 Across Europe*, p. 187, 2021.

- [61] Baseline protocol, "Amster Based 2022 - Baseline Protocol@EthDevConnect," Live streaming Youtube, Amsterdam, Netherlands, Apr. 20, 2022.
- [62] Baseline protocol org., "The Baseline protocol," *Open Source community*. Mar. 2020. Accessed: Nov. 15, 2023. [Online]. Available: <https://docs.baseline-protocol.org/community/open-source-community>